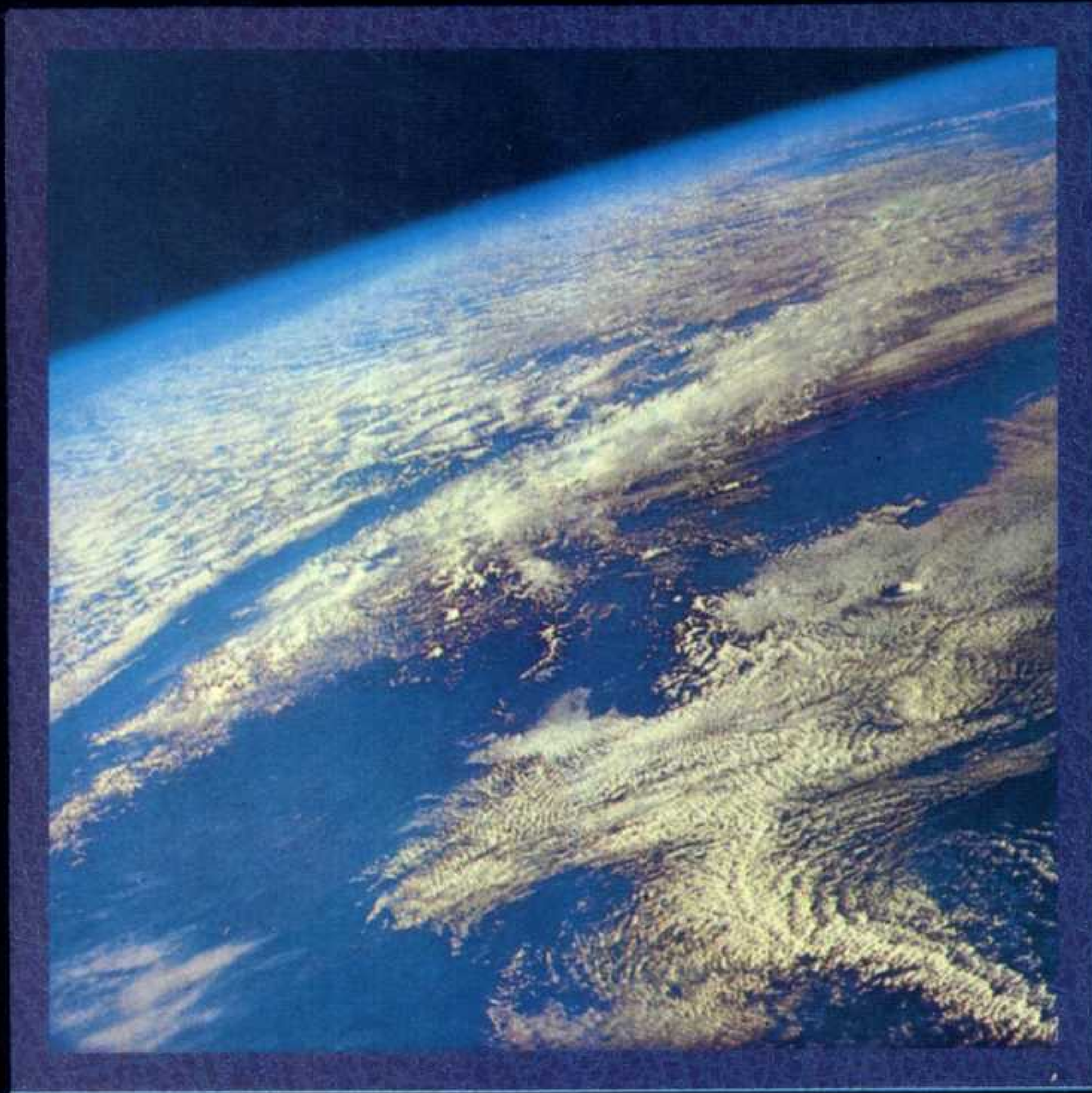
LOS SECRETOS DEL MAR

COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

4



folio



COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

4

Dirección editorial: Julián Viñuales Solé

Asesores científicos: Serge Bertino, Rhodes W.Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

Traducción: Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

Coordinación editorial: Julián Viñuales Lorenzo

Coordinación técnica: Pilar Mora

Coordinación de producción: Miguel Angel Roig

Diseño cubierta: STV Disseny

Publicado por :
Ediciones Folio, S.A.
Muntaner, 371-373
08021 Barcelona

De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmenes titulada genéricamente *Los Secretos del Mar.*

Distribución exclusiva para España y América:
Editorial Rombo, S.A.

ISBN: 84-7583-497-3 (Volumen 4)
84-7583-530-9 (Obra completa)

Impresión: Gráficas Estella

Depósito Legal: NA. 1304-1993
Printed in Spain

COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

4

folio

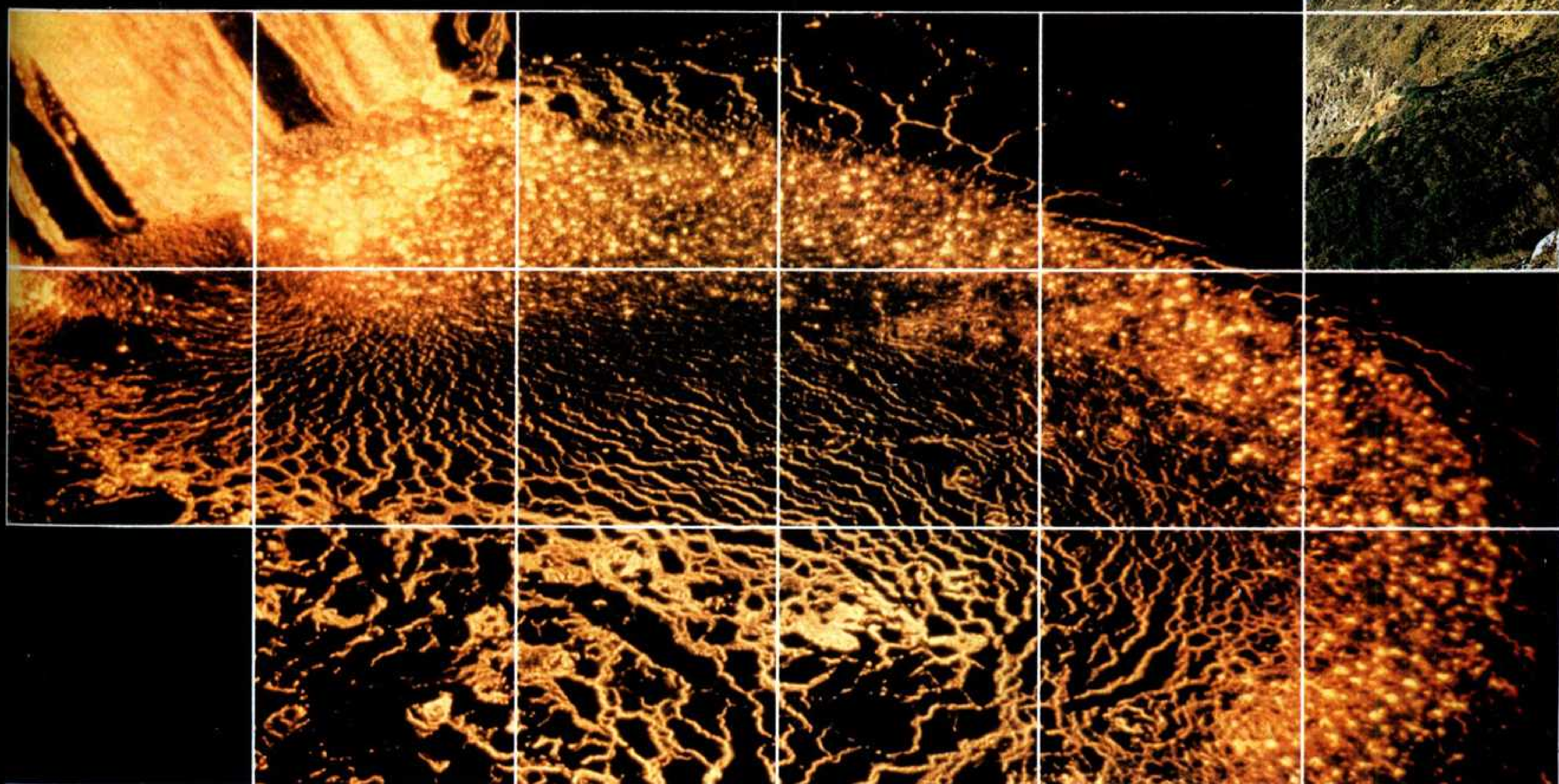


SUMARIO





El océano Pacífico



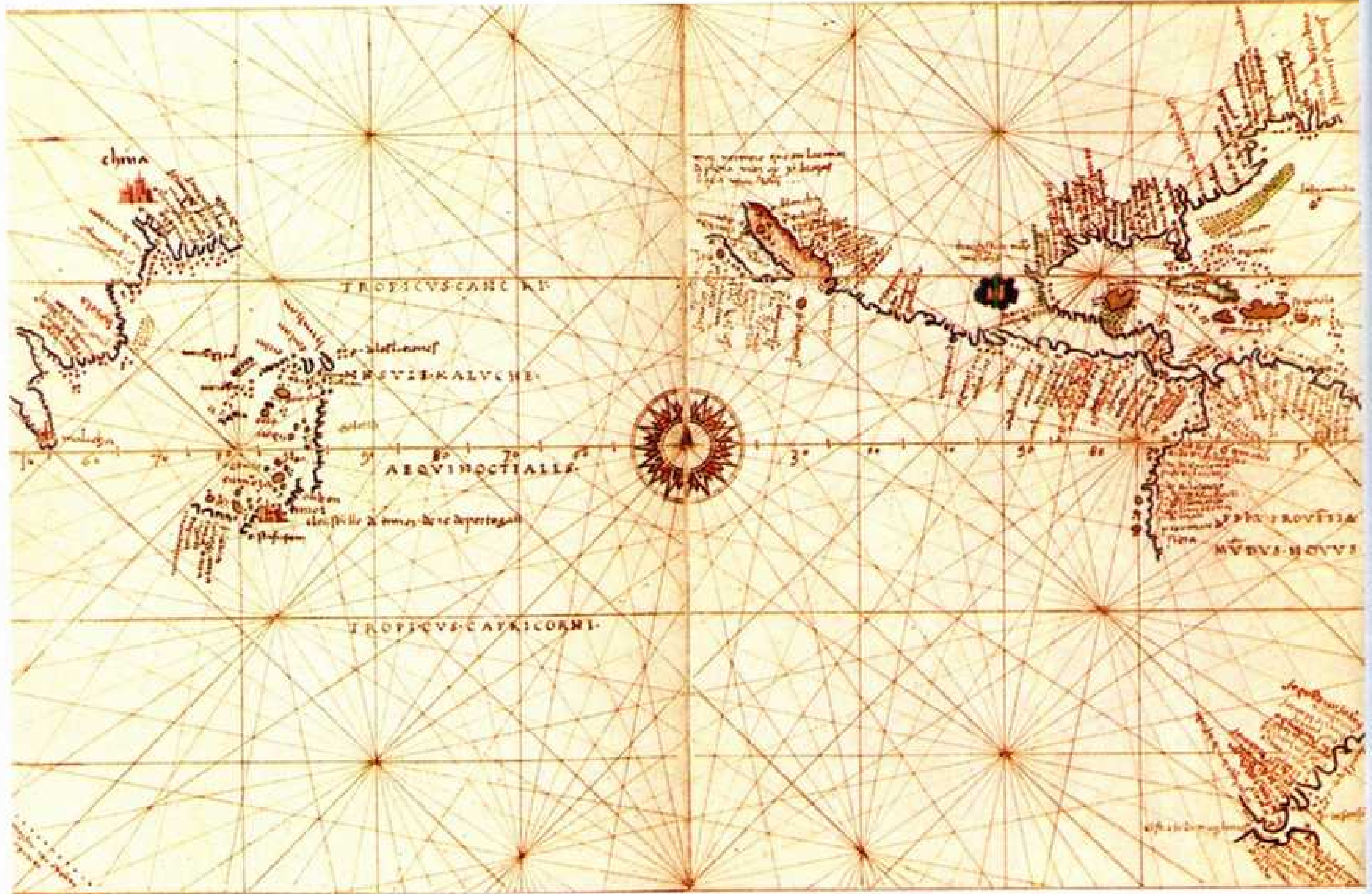


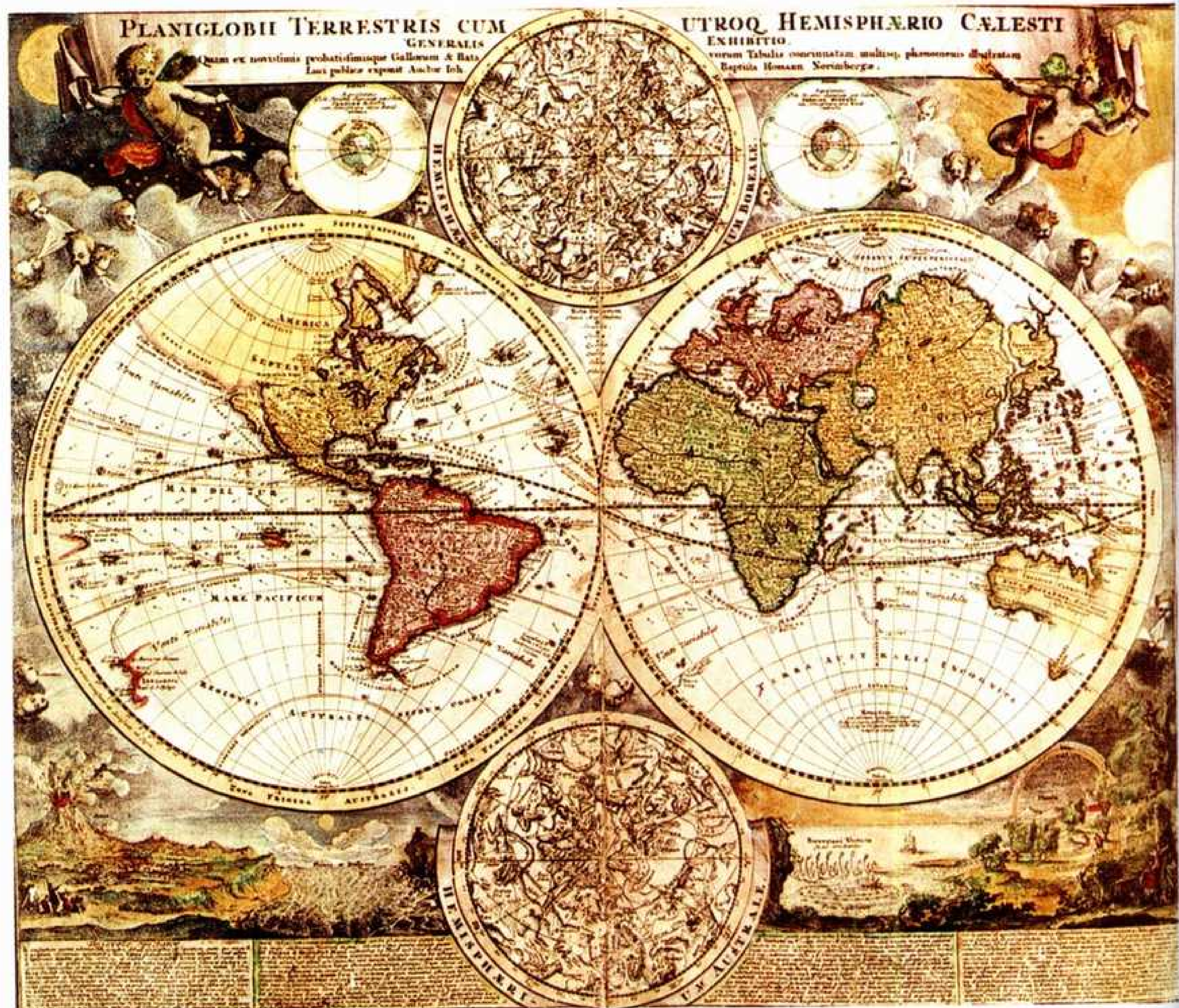
El mayor de los océanos

Los polinesios fueron los primeros hombres que se aventuraron sobre la inmensidad del Pacífico. En el primer milenio de nuestra era avanzaron sin cesar hacia el Este, y acabaron por colonizar un área extremadamente extensa, desde el archipiélago de Hawai hasta la isla de Pascua y Nueva Zelanda. El primer europeo que atravesó el Pacífico fue Magallanes, durante su famosa vuelta al mundo (1519-1522). El propósito del navegante era, entre otros, demostrar que el archipiélago de las Molucas, en las Indias Orientales, entraba con pleno derecho dentro de la región colonial española, según los términos del tratado de Tordesillas, firmado en 1494. Este viaje abrió a España las puertas de la conquista de Filipinas. Magallanes navegó desde el estrecho que lleva su nombre, en el extremo de América del Sur, hasta las Marianas sin encontrar en su camino más que dos atolones. Murió asesinado en Filipinas, y fue su lugarteniente, Elcano, el que terminó la vuelta al mundo. Otros navegantes españoles, en especial Mendana y Quirós, prosiguieron su obra, y descubrieron el archipiélago de las Salomón y el de las Marquesas. Fue el inicio de una larga serie de viajes, casi todos marcados por alguna tragedia: escorbuto, falta de agua, choques violentos con las poblaciones indígenas... La hegemonía española en el Pacífico fue rápidamente puesta en entredicho por Inglaterra, Francia y Holanda. La segunda vuelta al mundo de toda la historia, la del británico Francis Drake, en 1577-1580, tuvo como finalidad esencial debilitar la supremacía castellana en el gran océano. Además, Drake era un pirata, apoyado y pronto ennoblecido por Isabel I de Inglaterra. El siglo XVII y la primera mitad del XVIII vieron multiplicarse las expediciones paramilitares, y los corsarios hicieron su agosto en todos los mares del Sur.

Hubo que esperar al largo viaje del francés Louis Antoine de Bougainville, y después a los del inglés James Cook y del francés La Pérouse, para que prevaleciese el interés geográfico y científico (aunque las preocupaciones de orden colonial y comercial no estaban del todo ausentes de estas expediciones). En Francia, Bougainville y después La Pérouse, al multiplicar sus viajes, despertaron el interés de los filósofos (Diderot escribió en 1774 su famoso *Suplemento al viaje de Bougainville)*. En Inglaterra le correspondió el turno a James Cook. Durante su primer periplo, en 1768, recibió la orden del Almirantazgo británico de ir a observar a Tahití (descubierta dos años antes por su compatriota Wallis) el paso del planeta Venus sobre el disco solar. De hecho, la astronomía no era más que una parte del objetivo general de la expedición: Cook, acompañado por geólogos y naturalistas, exploró Nueva Zelanda y las costas orientales de Australia. Fue el segundo, después del español Torres, en descubrir la gran barrera de coral que se extiende entre Australia y Nueva Guinea. Estuvo a punto de naufragar, pero felizmente pudo escapar del arrecife. Su segundo viaje, de 1772 a 1775, se consagró esencialmente a la busca de un gran continente austral: la expedición rozó el Antártico, sobrepasando el grado 71 de latitud Sur. La tercera y última misión tuvo como fin buscar una posible conexión entre el Pacífico Norte y el Atlántico Norte. Cook atravesó el estrecho de Bering, pero se vio rápidamente bloqueado por los hielos. Volvió hacia el Sur, y redescubrió las islas Hawai (ya visitadas por los españoles en el siglo XVI). Allí fue asesinado por los indígenas, en el año 1779. En 1788 La Pérouse correrá la misma suerte en la isla de Vanikoro, al norte de las Nuevas Hébridas.

Al final del siglo XVIII y en el XIX, las tierras del Pacífico empezaron a ser colonizadas por los europeos. Los británicos se establecieron en Australia, en Nueva

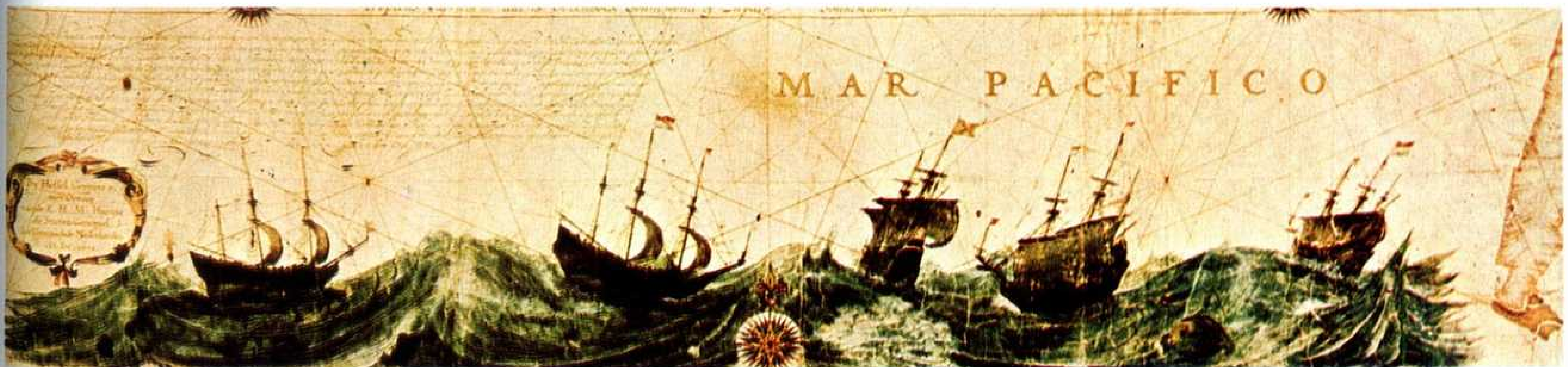


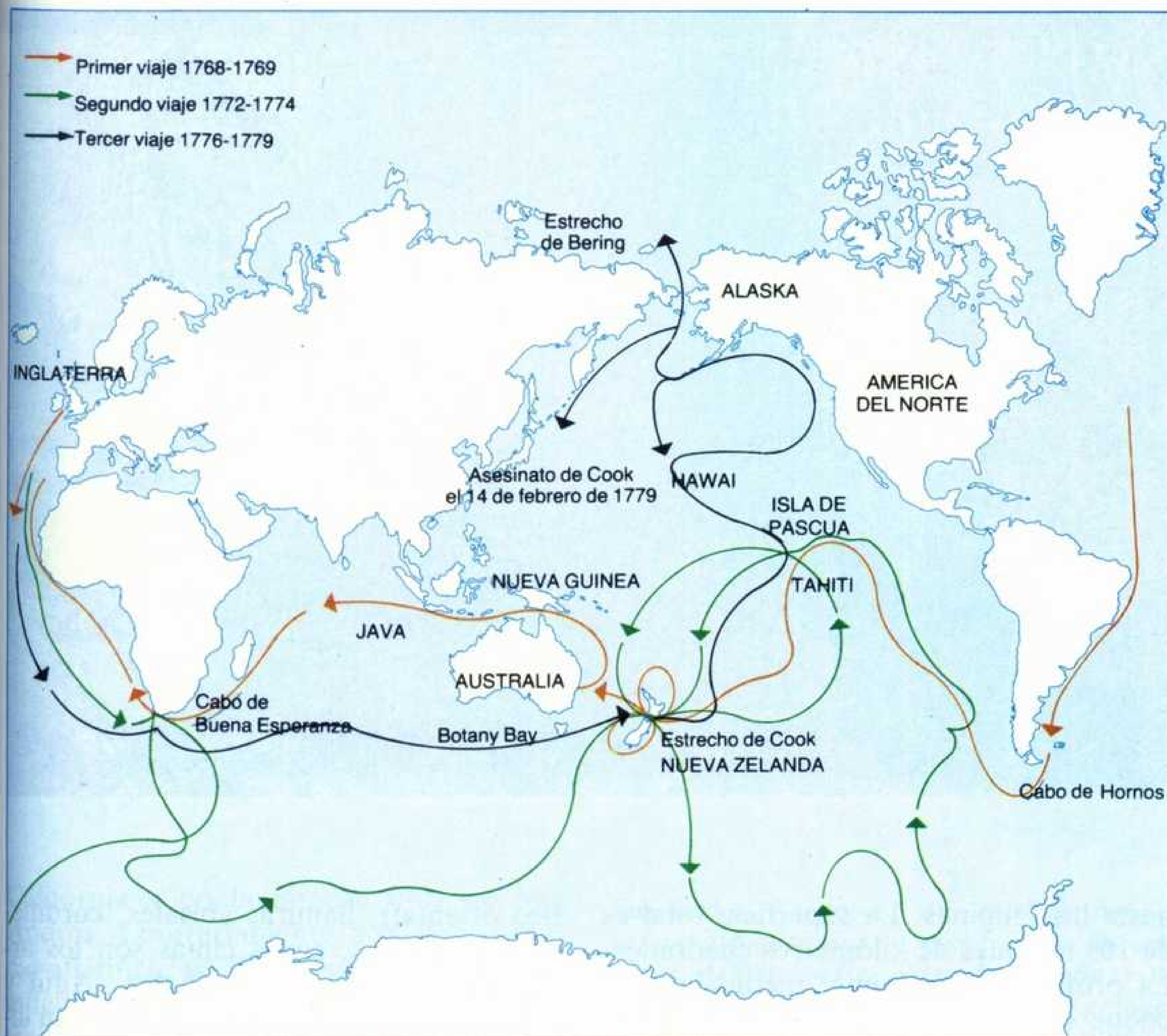




Zelanda, etc. Los franceses escogieron las Tuamotú, las islas de la Sociedad, etc. Los balleneros surcaron el inmenso océano, sobre todo los americanos de Nueva Inglaterra, en busca del cachalote (es en el Pacífico donde Herman Melville sitúa el combate final del capitán Acab con *Moby Dick*, el cachalote blanco). Desde el punto de vista científico, la expedición más importante fue la del *Beagle* británico, entre 1831 y 1836, capitaneada por Fitzroy y que contaba con el joven naturalista Charles Darwin. Fue durante este viaje, y en especial al estudiar la fauna del archipiélago de las Galápagos, cuando tuvo Darwin la intuición de su teoría evolucionista de la aparición de las especies. Se realizaron otras expediciones, en concreto la de los rusos Krusenstern y Kotsebue, la del americano Charles Wilkes (que descubrió lo que se llama actualmente Tierra de Wilkes, en el Antártico oriental) y la del francés Dumont d'Urville, que en 1844 llegó al continente antártico en una región que bautizó Tierra de Adelia. Los franceses fueron de hecho los más activos en esta zona durante el comienzo del siglo XIX, ya que querían compensar la pérdida de las colonias tras la derrota napoleónica. Aseguraron de esta manera su presencia en Nueva Caledonia, en las Nuevas Hébridas, etc. Por su parte, los alemanes se establecieron en las Carolinas, las Marianas, en Nueva Guinea, etc., colonias que les fueron retiradas en 1918.

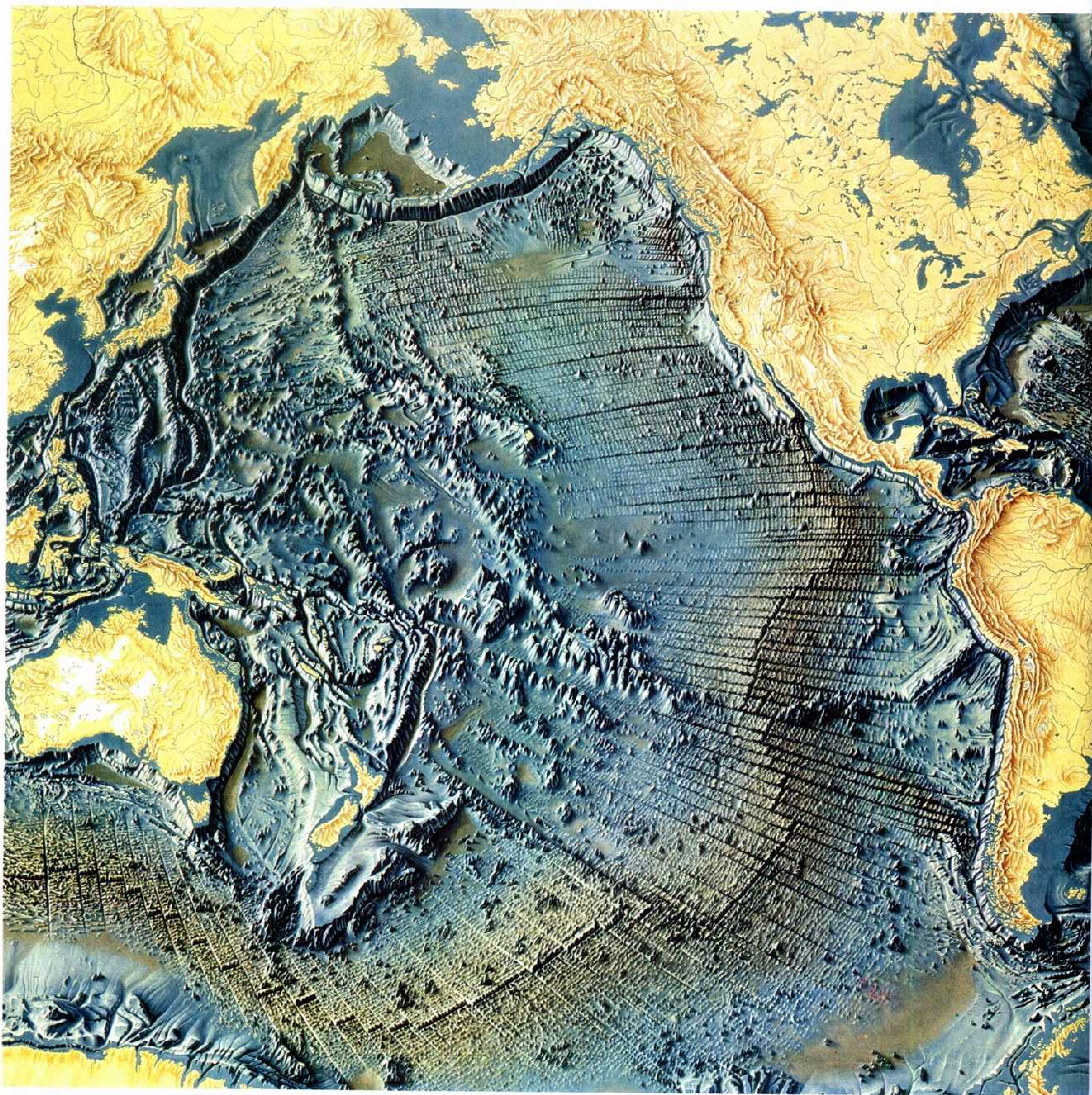
A finales del siglo XIX, el conjunto de las tierras que salpicaban la enorme extensión azul del océano Pacífico estaba dividido entre las grandes potencias. Como en cualquier otro lugar, la colonización conllevó grandes transformaciones. Las poblaciones indígenas, brutalmente confrontadas a culturas, costumbres y tecnologías que ni siquiera imaginaban, perdieron rápidamente sus propias tradiciones, cuando no fueron eliminadas físicamente en el transcurso de combates (en los que, como es lógico, contaban con pocas posibilidades de éxito) o por epidemias originales por la acción de gérmenes patógenos (sífilis, viruela, rubéola, tuberculosis).





El océano más tardíamente explorado. *Magallanes fue el primero en atravesar el Pacífico, en 1520, y quien lo bautizó. Página de la izquierda, arriba: un mapa marítimo español de 1520. Abajo: un planisferio de principios del siglo XIX. La exploración del Pacífico está ligada fundamentalmente al nombre de tres grandes navegantes: los franceses Bougainville y La Pérouse, y el inglés James Cook. Este último realizó tres viajes entre 1768 y 1779, y fue asesinado en Hawai. Arriba: Cook en Tahití en 1769, durante el paso del planeta Venus sobre el Sol. En medio: una decoración para un mapa del océano Pacífico de 1622. Abajo: un mapa esquemático que muestra los viajes del capitán Cook.*

Las fronteras de la batimetría

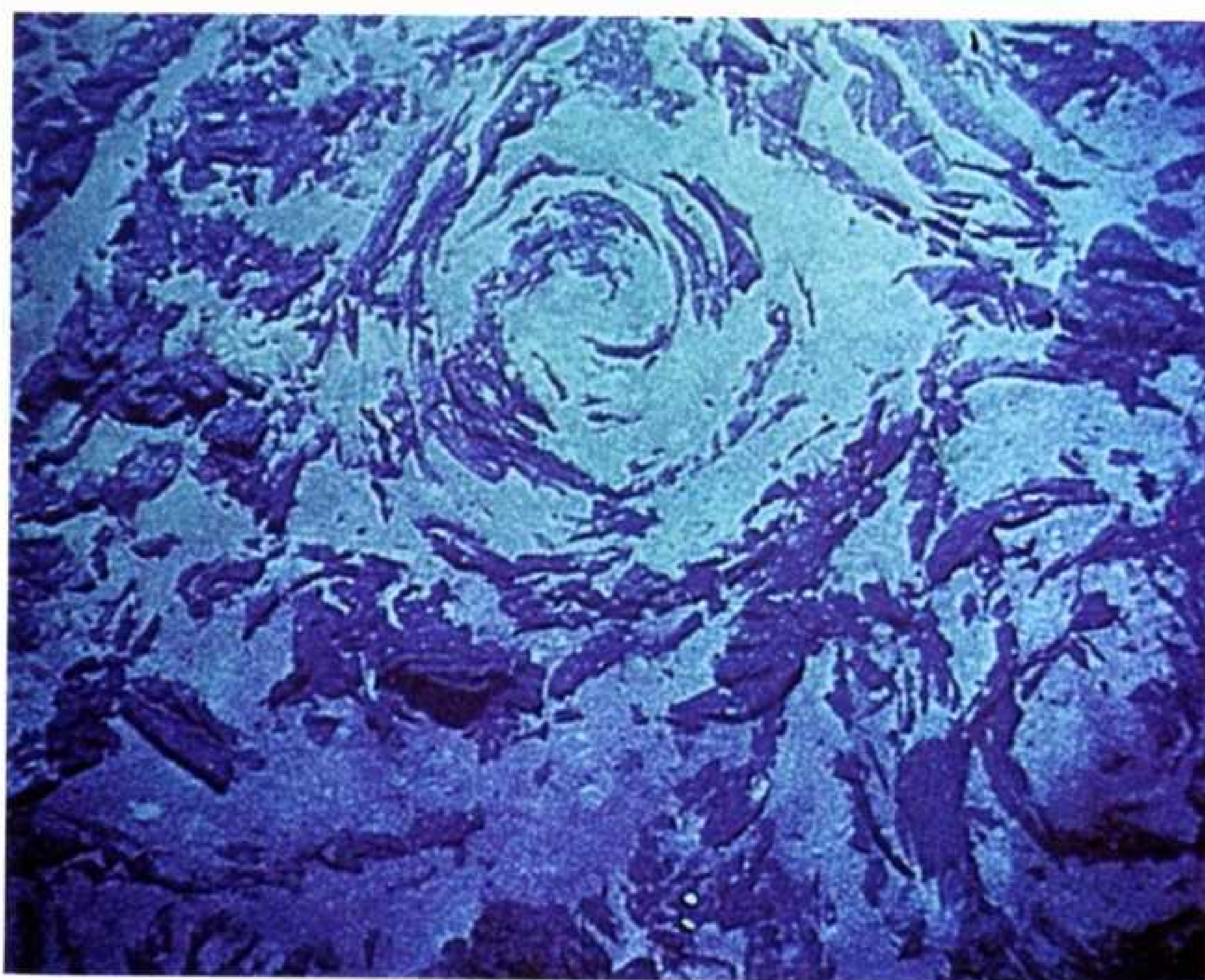


EL mayor y más profundo de los océanos está dividido en dos grandes cuencas: el Pacífico septentrional, especie de inmenso triángulo cuyos lados son el estrecho de Bering, Panamá y las Filipinas, y el Pacífico austral, de forma más o menos rectangular, que se extiende hacia el sur hasta el 55 paralelo meridional (allí empieza el océano glacial Antártico). Las dimensiones de este conjunto son colosales: hay 15.000 kilómetros desde el estrecho de Bering hasta la Convergencia Antártica, y 17.000 desde Panamá hasta las Filipinas. La superficie total es de 165 millones de kilómetros cuadrados. La profundidad máxima, medida por el buque soviético *Vitiaz*, es de 11.034 metros en el «agujero de Challenger», que forma parte de la fosa de Las Marianas. La profundidad media es de 4.282 metros. El volumen alcanza los 707 millones de kilómetros cúbicos.

A pesar de estas gigantescas dimensiones, el fondo del Pacífico sólo está formado por cuatro clases de relieves: una dorsal medio-oceánica (la dorsal del Pacífico oriental), llanuras abisales, cordilleras submarinas, cuyas cimas son los archipiélagos, fosas marginales. Aquí y allá, volcanes submarinos aislados dan lugar a atolones de coral.

La dorsal del Pacífico oriental forma parte del inmenso sistema medio-oceánico que se extiende sobre el conjunto del globo, y que es el responsable de la deriva de los continentes. Es una prolongación de la dorsal del océano Indico, que pasa al sur de Australia y que forma un inmenso círculo que termina en el golfo de





California y en la famosa falla de San Andrés. Contrariamente a la dorsal medio-atlántica, no divide su océano en dos mitades iguales y simétricas. Se halla interrumpida por una infinidad de líneas de fractura. La actividad que reina en ella es muy variable. En la región sudoriental parece «adormilada». Por el contrario, es muy intensa frente a las costas de América del Sur y de América Central. Está prolongada, más allá de la falla de San Andrés, por la pequeña dorsal de Juan de Fuca, frente a Oregón y a la Columbia Británica. Las islas Galápagos se encuentran sobre una rama divergente de la dorsal principal: la dorsal de Carnegia. Existen otras ramas divergentes, en especial la dorsal de Nazca, que llega hasta Perú. Hay que unir a estos relieves importantes fracturas, como las de Clipperton, Clarion, Molokai, Murray y Mendocino.

Los fondos. *La dorsal medio-oceánica corre del sudoeste del Pacífico hasta California, y divide la mayor cuenca oceánica de la Tierra en dos partes desiguales (página precedente). Se prolonga por la famosa falla de San Andrés (arriba), que pasa cerca de San Francisco y que continúa bajo el mar frente a las costas de Oregón y de Canadá. Las grandes fosas están situadas en la periferia del Pacífico, océano que está rodeado por el «cinturón de fuego», numerosos volcanes que escupen su lava aquí y allá, como en las islas Galápagos (arriba).*

La llanura abisal, en las proximidades de la dorsal medio-oceánica, comienza por suaves relieves, de una altura media de 300 metros, que se allanan posteriormente a mayor profundidad. Lejos de los espigones volcánicos, el fondo oceánico es a veces llano como una mesa de billar, hecho que demuestra una notable estabilidad geológica. Los depósitos sedimentarios son relativamente escasos salvo en la proximidad de los continentes, donde se encuentran los conos de deyección de los grandes ríos.

En estas monótonas llanuras surgen en algunas regiones montañas volcánicas submarinas, algunas de las cuales perforan la superficie del mar y forman islas: las de menor altura constituyen grandes columnas llamadas *guyots.*

Algunas cordilleras submarinas son particularmente importantes, como la que culmina formando el archipiélago de Tuamotú y el de las islas de la Sociedad. La inmensa cordillera del Emperador une el archipiélago de las Hawai a la península de Kamchatka, y tiene una longitud aproximada de 6.000 kilómetros.

Las fosas que bordean el océano Pacífico son las más profundas del mundo. Si el agujero de Challenger alcanza el récord de 11.034 metros, no son raras profundidades por debajo de los 10.000 metros. Se alcanza este valor en la fosa de las Kuriles, en la de Filipinas, en la de Tonga, en la de Kermadec...

Las fosas de la región occidental del Pacífico están en contacto directo con arcos insulares volcánicos activos y constituyen los motores de un intenso trabajo tectónico.

Por lo que respecta a las fosas del borde oriental del gran océano, de menor profundidad (–8.025 metros en la fosa de Perú-Chile), lindan con las altas cordilleras continentales (cordillera de los Andes) y están parcialmente colmadas por sedimentos.

El océano Pacífico está rodeado, como ya ha sido apuntado hace años por varios autores —y con éxito, pues la idea se popularizó—, por un verdadero «cinturón de fuego» en el que los volcanes son particularmente numerosos y donde con una frecuencia inquietante se producen fuertes terremotos. Desde Kamchatka hasta Japón y Nueza Zelanda, y desde los Andes a las montañas Rocosas y a Alaska se suceden los volcanes en número impresionante.

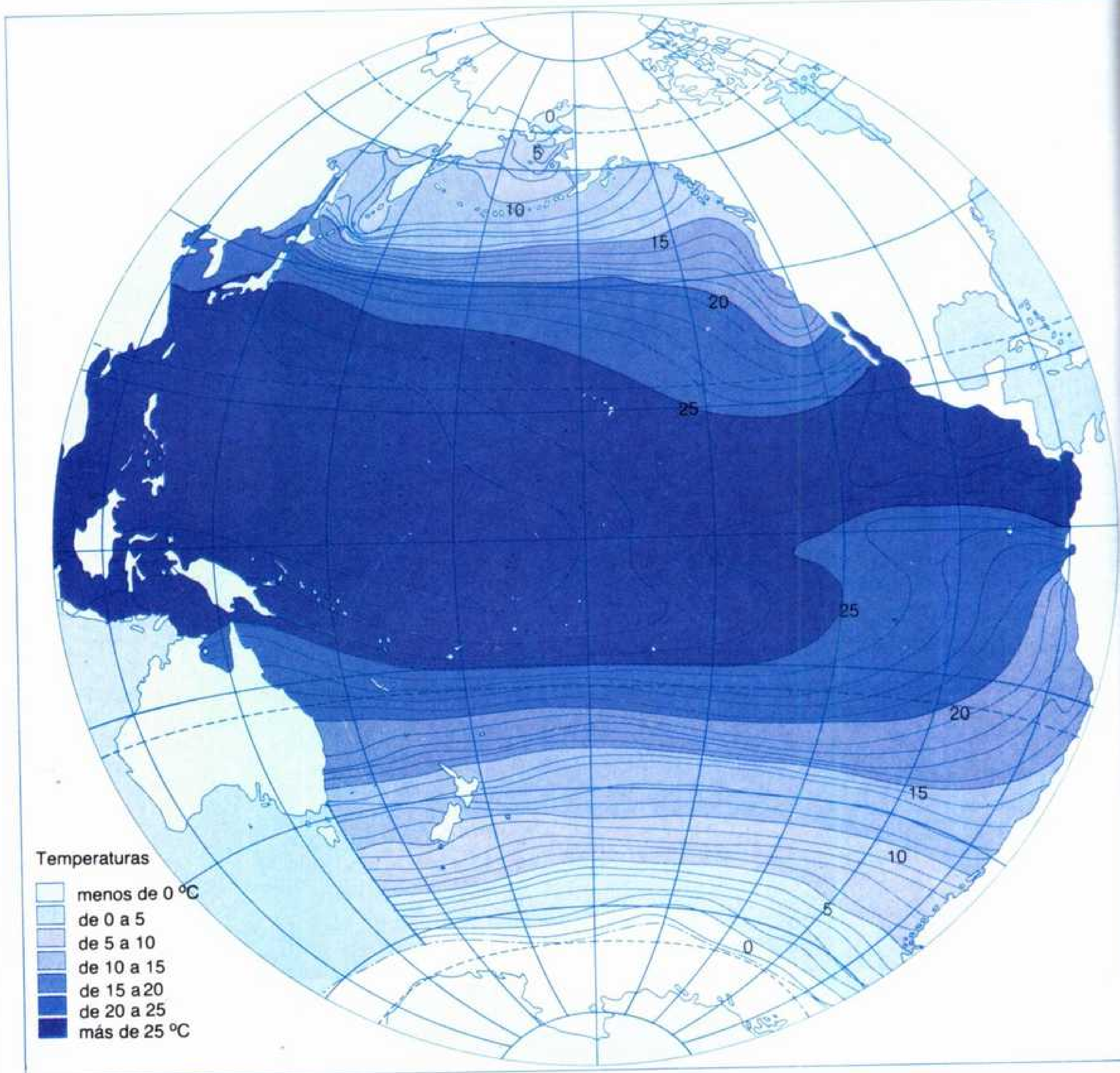
Los vientos y las corrientes

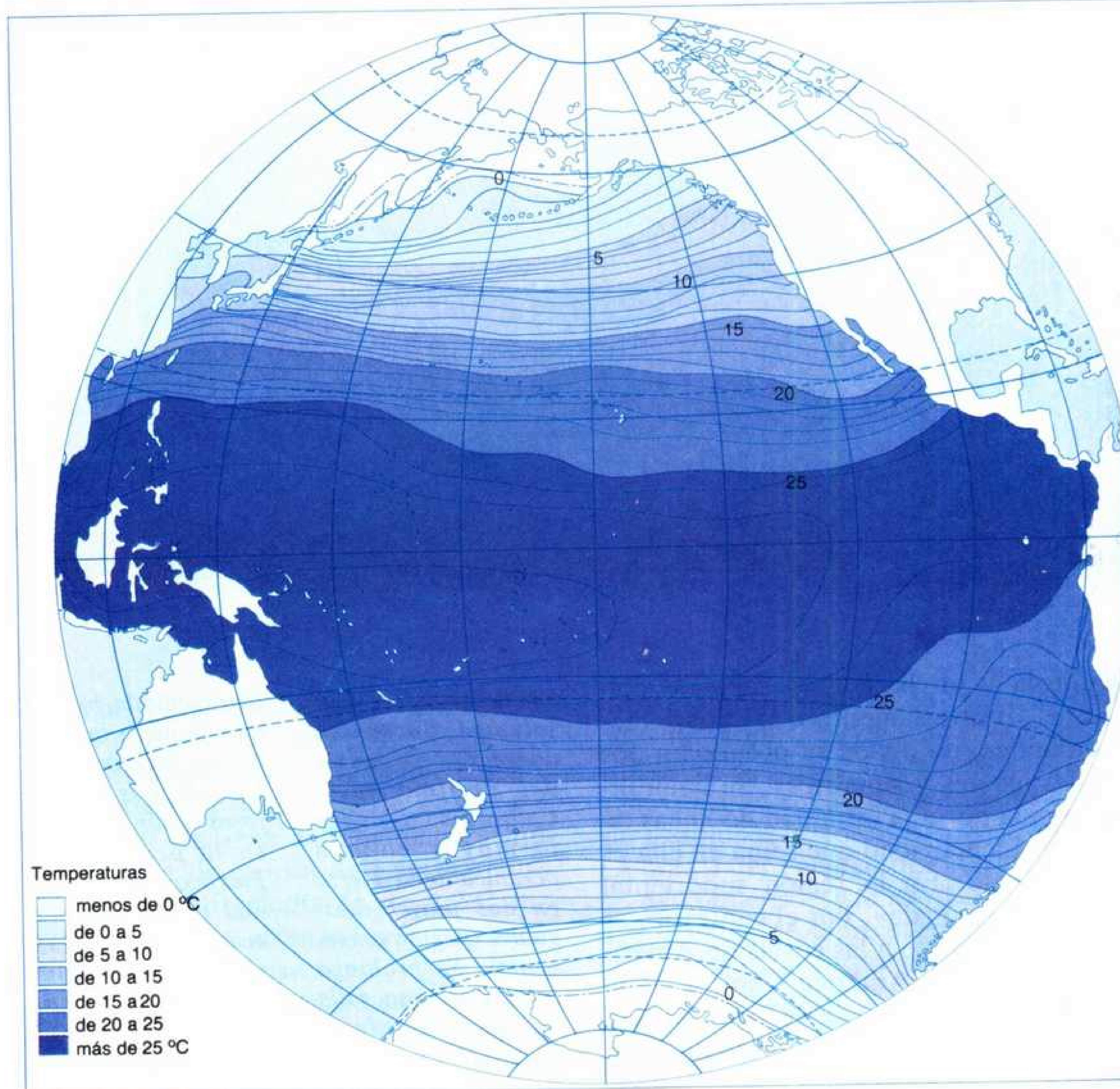
Dos grandes áreas de altas presiones, el anticiclón del Pacífico del norte (o anticiclón de las Hawai) y el anticiclón del Pacífico del sur, dispuestos a ambos lados de la región de las calmas ecuatoriales, dominan la circulación atmosférica de esta parte del mundo. Estas dos unidades están mejor caracterizadas en el verano boreal; durante el invierno se diluyen y migran hacia el sudeste.

La zona de los alisios se extiende entre el grado 25 de latitud Norte y el grado 25 de latitud Sur. En general, estos vientos son más débiles y más regulares que sus homólogos de los otros océanos (aunque en la región oriental de la cuenca están más individualizados y rigen una buena parte de la circulación aérea local). En el oeste del Pacífico Norte, la dirección general de las perturbaciones se invierte de forma estacional: soplan del noroeste hacia el sudeste o en sentido contrario. Esto se debe a que se forma sobre Siberia un centro de altas presiones en invierno y un centro de borrascas en verano. En invierno, los vientos son fríos y secos; en verano, cálidos y húmedos. Se trata en realidad de un régimen de monzones.

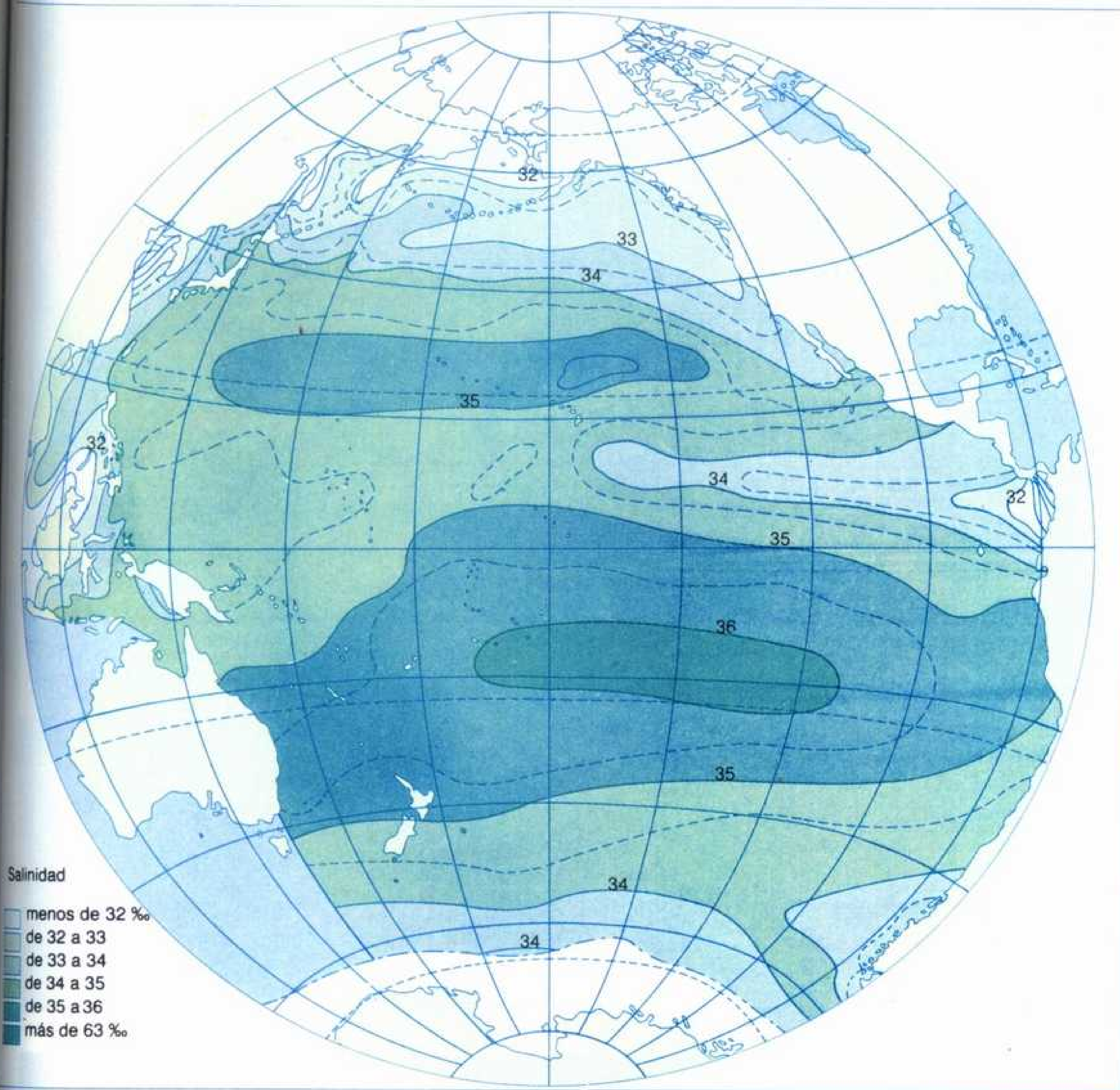
Como las aguas del Pacífico se extienden sin obstáculo de un polo a otro, o casi, sus temperaturas son extremadamente variables en superficie. Por debajo de los círculos polares se acercan a los 0 °C; en el ecuador sobrepasan los 28 °C. Entre estos dos extremos, los gradientes se corresponden bastante bien con los cambios de latitud.

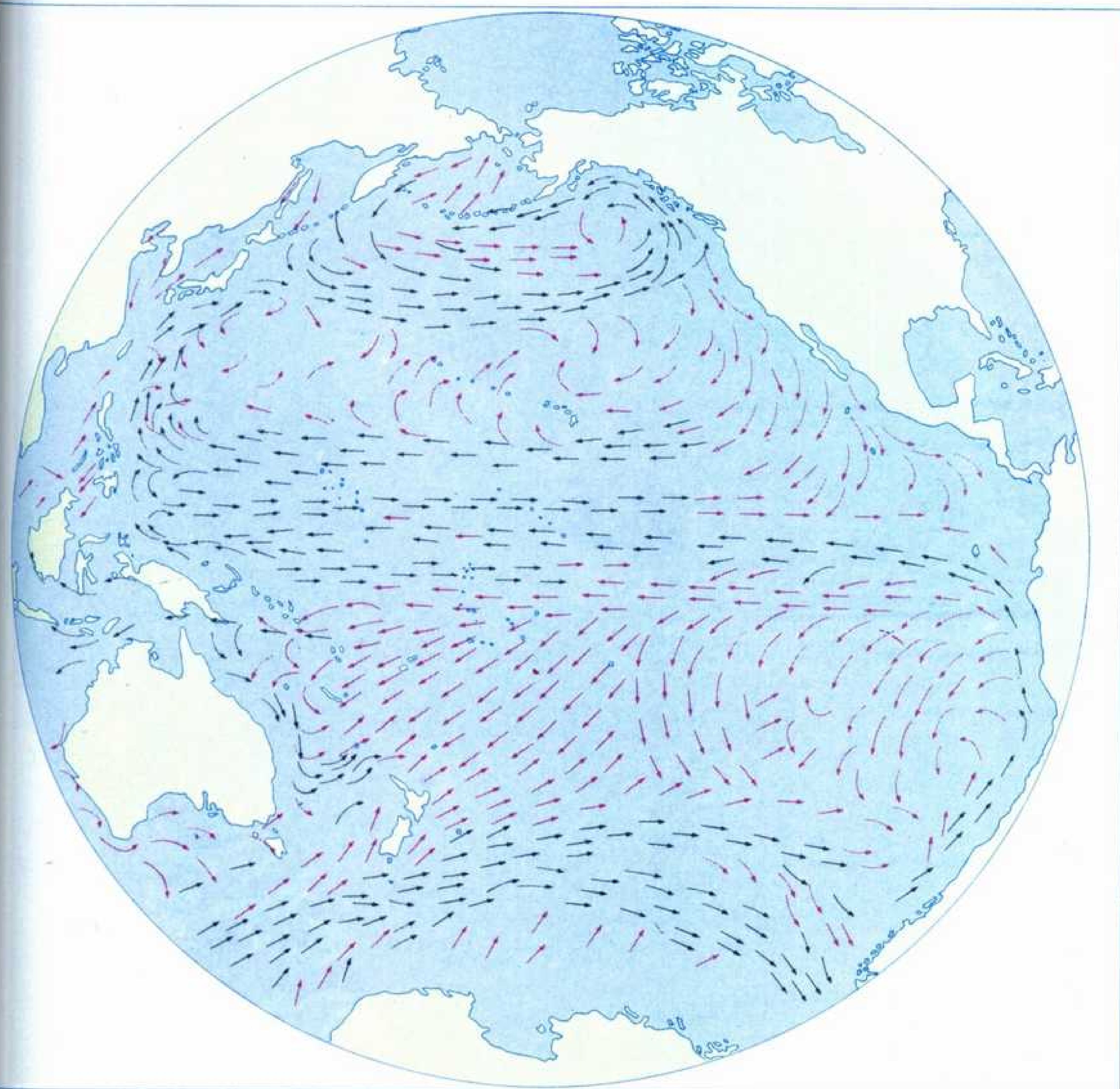
En lo que concierne a la salinidad, podemos decir que alcanza su máximo en las latitudes medias, donde la tasa de evaporación supera a las precipitaciones. Los valores máximos son de 35,5 por 1.000 en el hemisferio septentrional y de 36,5 por 1.000 en el hemisferio austral. Por supuesto, las grandes corrientes influyen sobre las temperaturas superficiales y sobre las tasas de salinidad. Así, las corrientes frías (corriente de California, a lo largo de las costas de América del Norte; corriente de Humboldt, a lo largo





Corrientes, temperaturas y salinidad. *Los mapas de esta página muestran la temperatura superficial del agua del Pacífico en el transcurso del verano boreal (arriba) y del invierno boreal (abajo). Se observa una simetría en la sucesión de las bandas coloreadas a una y otra parte del ecuador. El Pacífico Sur es algo más frío debido al Antártico. En la página de la derecha se han representado, arriba, las tasas de salinidad; abajo, las corrientes cálidas (flechas rojas) y frías (flechas negras).*





de las de América del Sur) crean «núcleos» de baja salinidad en las latitudes medias, mientras que las corrientes cálidas (Kuro-Shivo) provocan un efecto contrario. Las precipitaciones alcanzan su máximo, es decir, cerca de los 2.000 milímetros por año, en la región del ecuador térmico, alrededor del grado 5 de latitud Norte, así como en el borde occidental del océano. La mayor sequía se produce mar adentro frente al desierto de Atacama, en Chile. Algunos atolones de la zona tropical del Pacífico oriental pueden catalogarse como semiáridos.

La circulación superficial de las aguas está regulada por el régimen de los alisios y de los vientos del Oeste, de tal manera que el sentido general de las corrientes está orientado hacia el Oeste en las latitudes bajas y hacia el Este en las latitudes altas. A lo largo de las masas continentales, las corrientes son dirigidas por los altos fondos y la línea de costa. Este es el caso de las corrientes de California, Humboldt, Kamchatka y del este de Australia. La corriente fría de California es extremadamente rápida: alrededor de 1,5 metros por segundo. El Kuro-Shivo, o «corriente negra», que bordea el este y el sur de Japón y que atraviesa el Pacífico en dirección a la Columbia Británica, es el equivalente del Gulf Stream. Su recorrido es más largo (9.000 kilómetros contra 7.000), pero su caudal es un poco menor (50 metros cúbicos por segundo en vez de 80 metros cúbicos). En la región meridional del Pacífico, las corrientes son casi simétricas a las de la región septentrional (corriente ecuatorial hacia el Oeste, contracorriente ecuatorial hacia el Este, gran deriva transpacífica hacia el Este en las latitudes medias). Pero el conjunto del sistema se halla profundamente influenciado por las aguas frías del Antártico. La corriente fría de Humboldt, que sube a lo largo de América del Sur, explica la gran riqueza en pesca de las aguas de Perú y el frescor de las costas de las Galápagos. En ellas se encuentra, pese a estar situadas en el ecuador, una especie de pingüino.

Frente a las costas de Perú, la corriente fría de Humboldt, que trae consigo desde el Antártico grandes cantidades de sustancias nutritivas, se encuentra con la corriente cálida llegada del norte, llamada *El Niño*. Algunos años, bajo la influencia de los alisios, y probablemente en relación directa con algunos ciclos de actividad solar, *El Niño* (llamada así porque aparece por Navidad) cobra una fuerza mayor, desciende más hacia el sur y provoca una catastrófica mortalidad del plancton en los bancos de pesca peruanos. Al desaparecer el plancton, surgen las algas rojas tóxicas y las bacterias que terminan de degradar el biótopo.

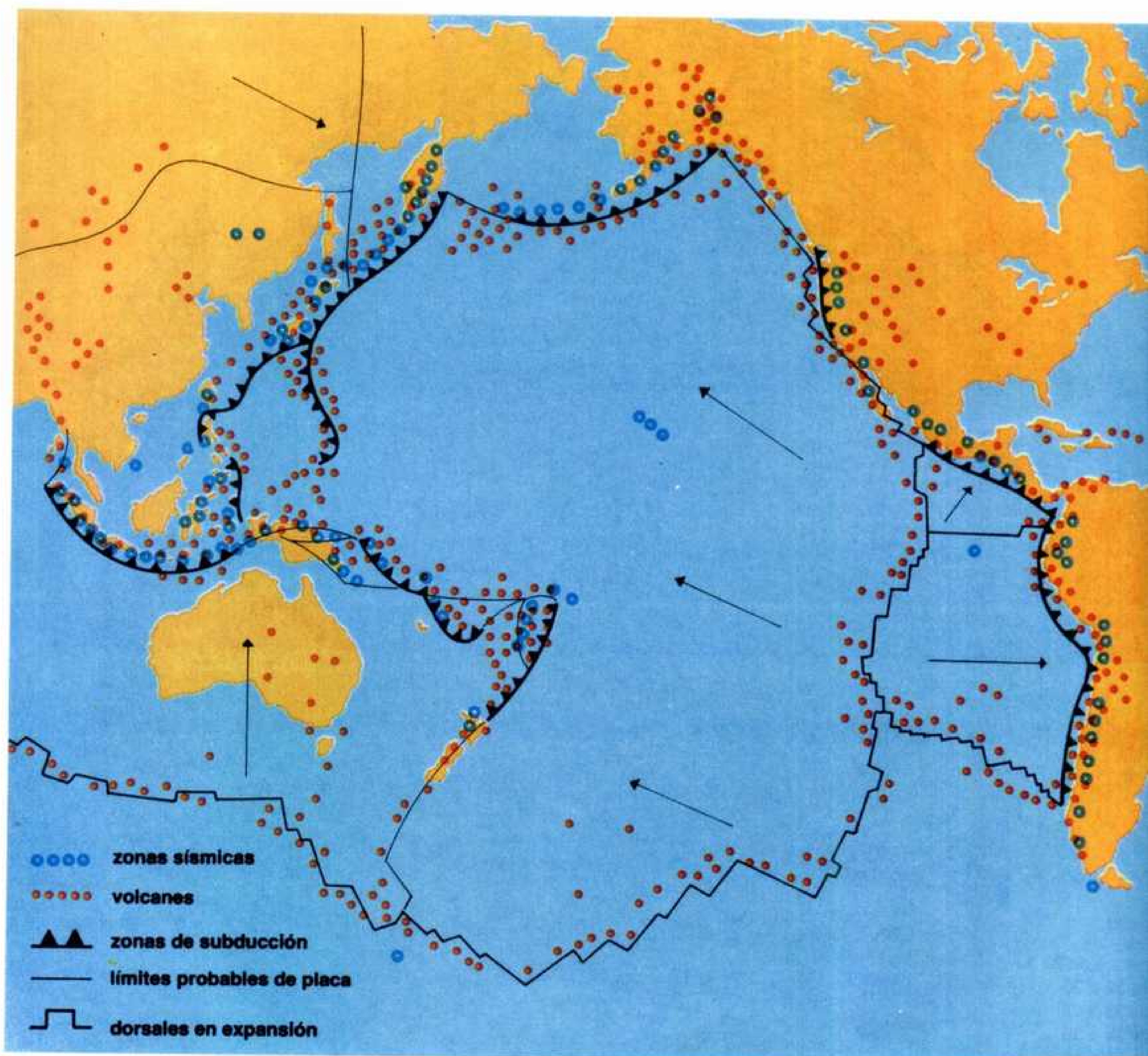
El cinturón de fuego

Si aceptamos la opinión de la mayoría de los geólogos, existía hace 3.000 millones de años un gigantesco océano Pacífico primordial que merecía su nombre de Panthalassa («todos los mares»). Rodeaba el conjunto del aglomerado de continentes, el Pangea («todas las tierras»). El Pangea empezó a fragmentarse hace aproximadamente unos 200 millones de años. La creación de los océanos Atlántico e Indico y su posterior ensanchamiento redujeron las dimensiones del Pacífico y le dieron su forma definitiva.

Hace 100 millones de años, los fondos del Pacífico estaban compuestos por cuatro placas tectónicas principales: la de Kula, la de Farallón, la del Pacífico en sentido estricto y la del Antártico. Estas placas estaban separadas por un sistema de dorsales, una de cuyas ramas comunicaba con el océano Indico pasando por el norte de Australia. El perímetro de la cuenca estaba ocupado casi completamente por profundas fosas. Existía una comuniación acuática, entre las dos Américas con el mar Caribe. Hace 80 ó 60 millones de años, toda esta estructura se modificó. Apareció un nuevo océano entre el Antártico y Australia, que empujó a este último continente hacia el Norte y que provocó la colisión del conjunto Australia-Nueva Guinea con la masa del continente asiático. Asimismo, en esta época la placa tectónica de Kula se ocultó prácticamente debajo del arco de las Aleutianas.

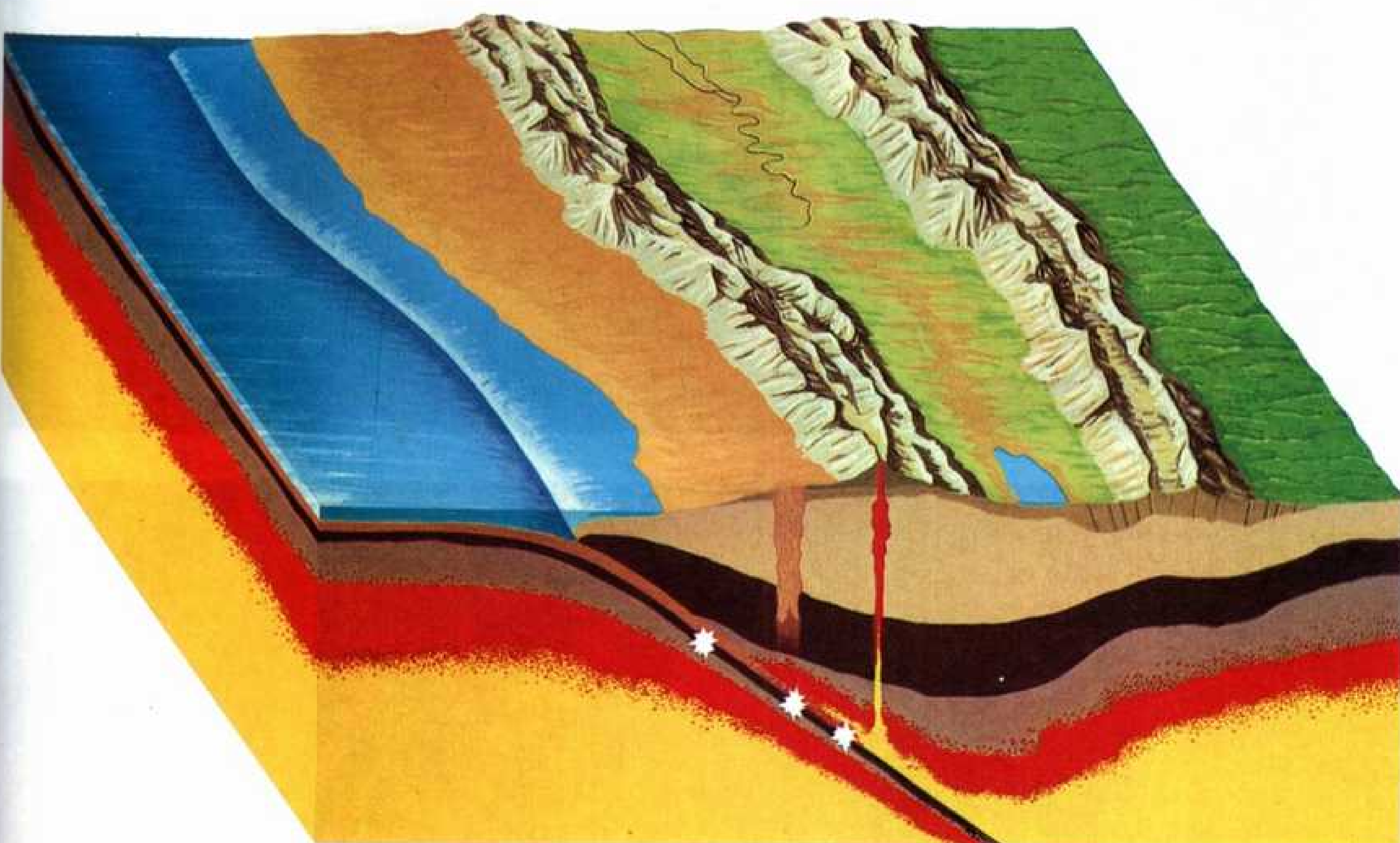
Hace 27 millones de años, la placa pacífica empezó a chocar oblicuamente con la placa norteamericana, provocando la formación de las sierras californianas. Era, para esta región, el principio de una fase de actividad tectónica y sísmica que aún prosigue. El sudeste de la cuenca del Pacífico, separado del resto de la placa pacífica por la dorsal medio-oceánica, fue a chocar contra la placa del Caribe (causando el cierre del istmo de Panamá) y contra el continente sudamericano, dando lugar a la violenta elevación de la cordillera de los Andes.

El inmenso «cinturón de fuego» que rodea al Pacífico, en donde los volcanes escupen su lava y donde los terremotos desolan periódicamente el paisaje, demuestra que esta actividad tectónica no se está frenando. De Kamchatka a Japón y a Nueva Zelanda, y de la cordillera de los Andes a México, a California, y a Alaska, se sitúa una verdadera «avenida de volcanes», donde el vulcanismo de tipo andesítico origina procesos explosivos catastróficos (el último fue en 1980: la erupción cataclísmica de la montaña Santa Elena, en Oregón). Existen otros focos volcánicos en el Pacífico, como el de las islas Hawai, pero aquí la lava es extremadamente fluida y basáltica. Se trata









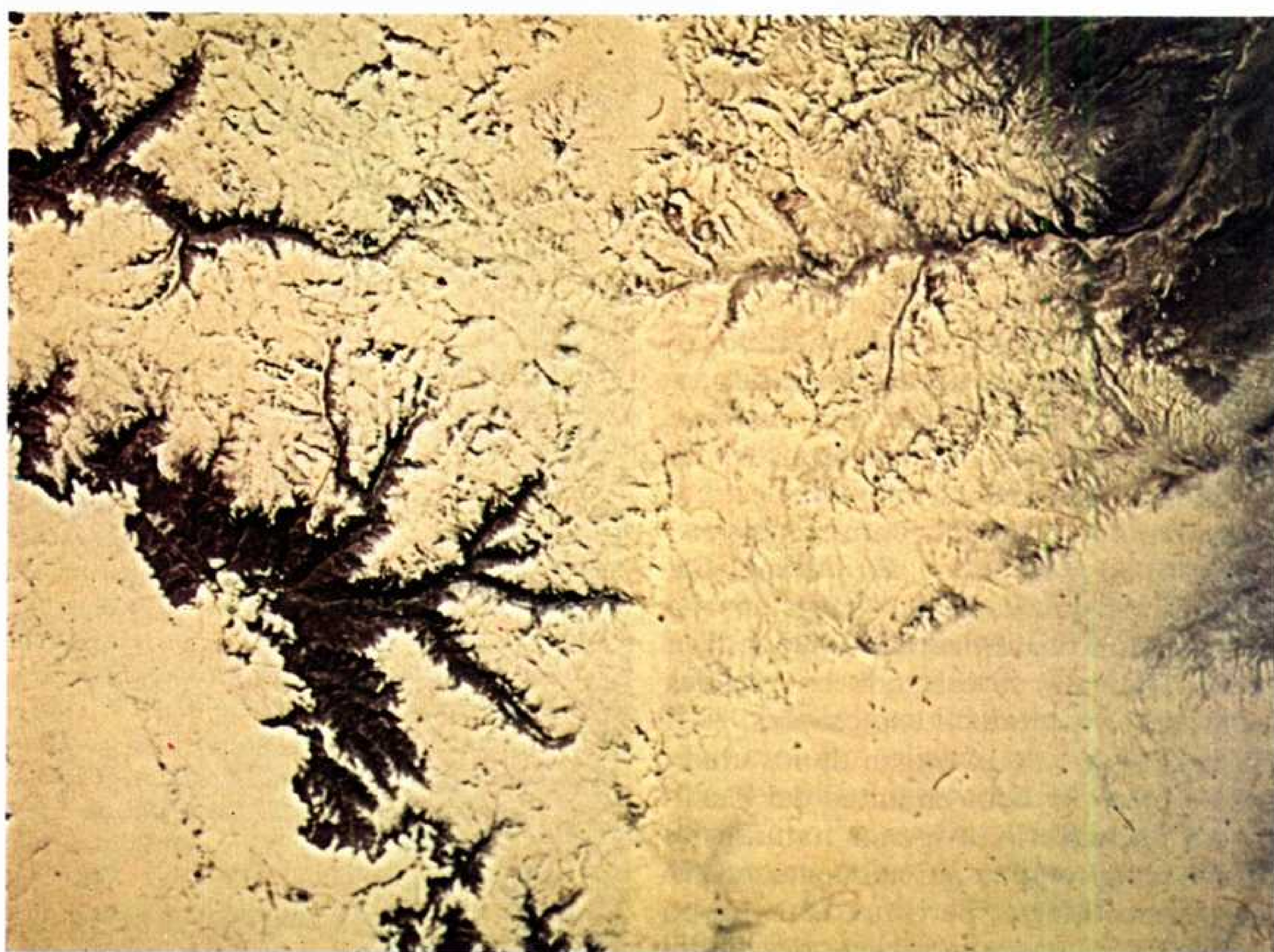
del mismo tipo de magma que el que desborda en la dorsal medio-oceánica, y que provoca la lenta y progresiva deriva de los continentes.

Las grandes fosas submarinas corresponden, según la teoría de la tectónica de placas, a zonas de subducción, es decir, a regiones donde los materiales rocosos se hunden en el interior del manto superior de la Tierra. La profundidad y la disposición de estos abismos alrededor de la cuenca prueban que este «viejo océano» se halla en un estado de continuo estrechamiento.

El origen de los mares periféricos del océano Pacífico da lugar a numerosas controversias entre los especialistas. Para algunos, los mares del Japón y de Bering y similares son restos de antiguas unidades geológicas «resquebrajados» por las fuerzas tectónicas en las eras secundaria y terciaria. Para otros son porciones de océano creadas íntegramente y en época reciente por dorsales secundarias, inactivas hoy día.

Una de las características del océano Pacífico, relacionada con sus inmensas dimensiones, es el pequeño espesor de los sedimentos de sus fondos. Los ríos que desembocan en él, exceptuando los que mueren en los mares periféricos —Colorado en el golfo de California, Amur en el mar de Ojotsk, Huang-ho (río Amarillo) y Yangtzekiang (río Azul) en el mar de China, ríos Rojo y Mekong en el mar de China meridional, es decir, los más importantes—, tienen un caudal que debe calificarse de modesto, cuando no se trata de simples torrentes que drenan las islas.



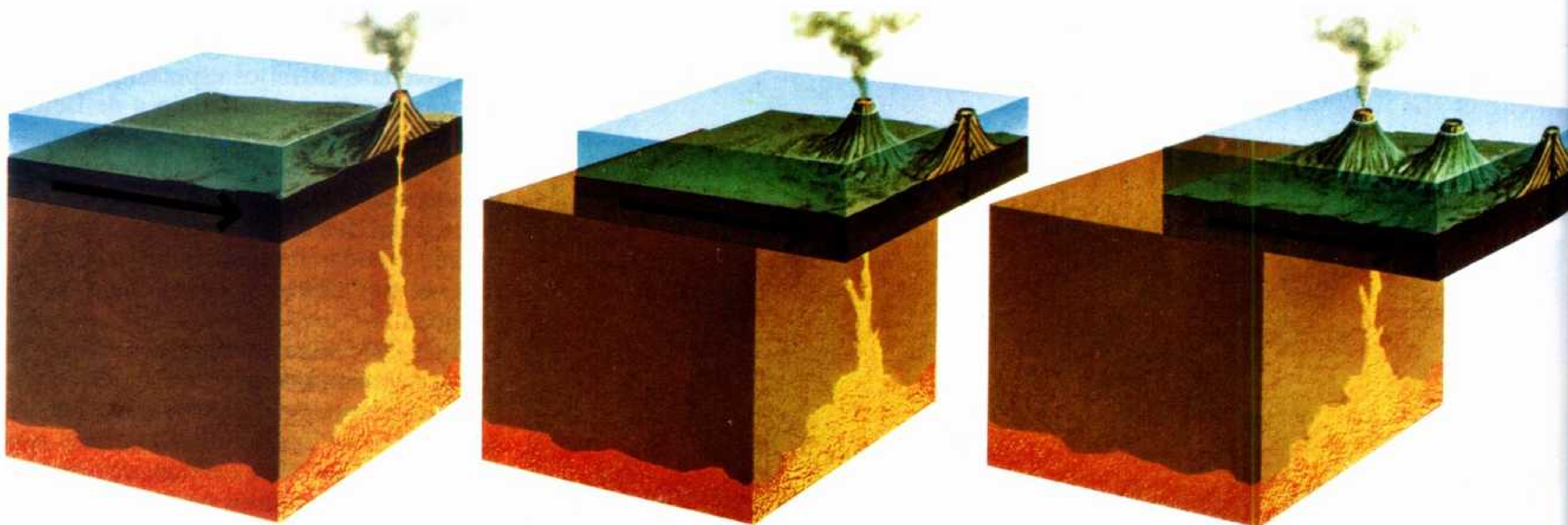


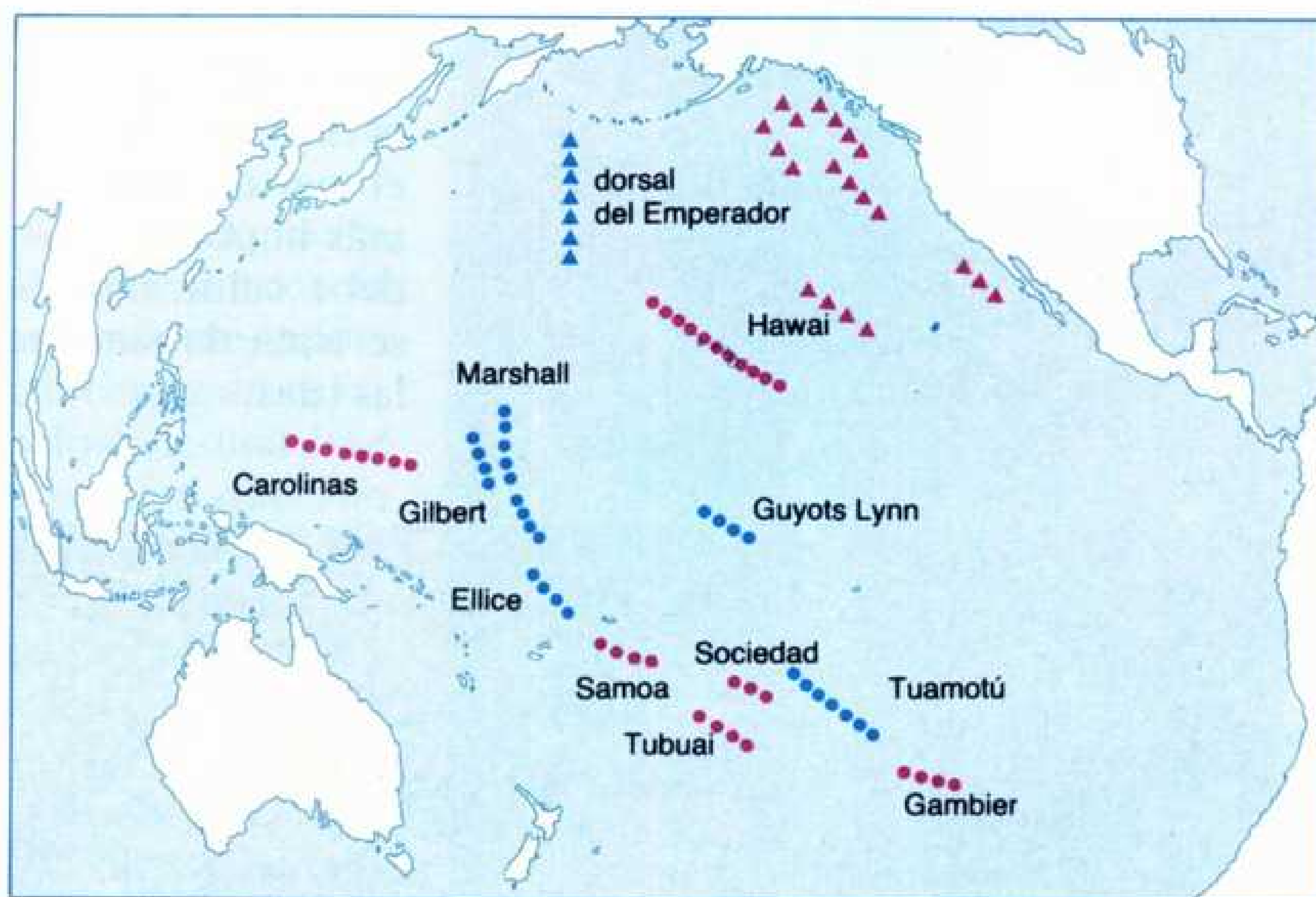
Placas en movimiento. *El fondo del Pacífico está dividido en cuatro grandes placas principales (página anterior, arriba). Cuando dos placas chocan entre sí, una de ellas se desliza bajo la otra en una zona llamada de subducción. Si este fenómeno ocurre mar adentro, asistimos al nacimiento de un arco insular volcánico, bordeado por una fosa muy profunda (esquema de arriba). Si la placa oceánica choca contra un continente, provoca el surgimiento de una cordillera (esquema de abajo). La cordillera de los Andes debe su existencia a este segundo tipo de colisión. Posee volcanes, muchos de los cuales se elevan más de 6.000 metros por encima del nivel del Pacífico, como el Huascarán, en Perú (fotografía de la página de la izquierda). A la derecha: una foto, tomada por un satélite, de la cordillera de los Andes, entre Chile y Argentina.*

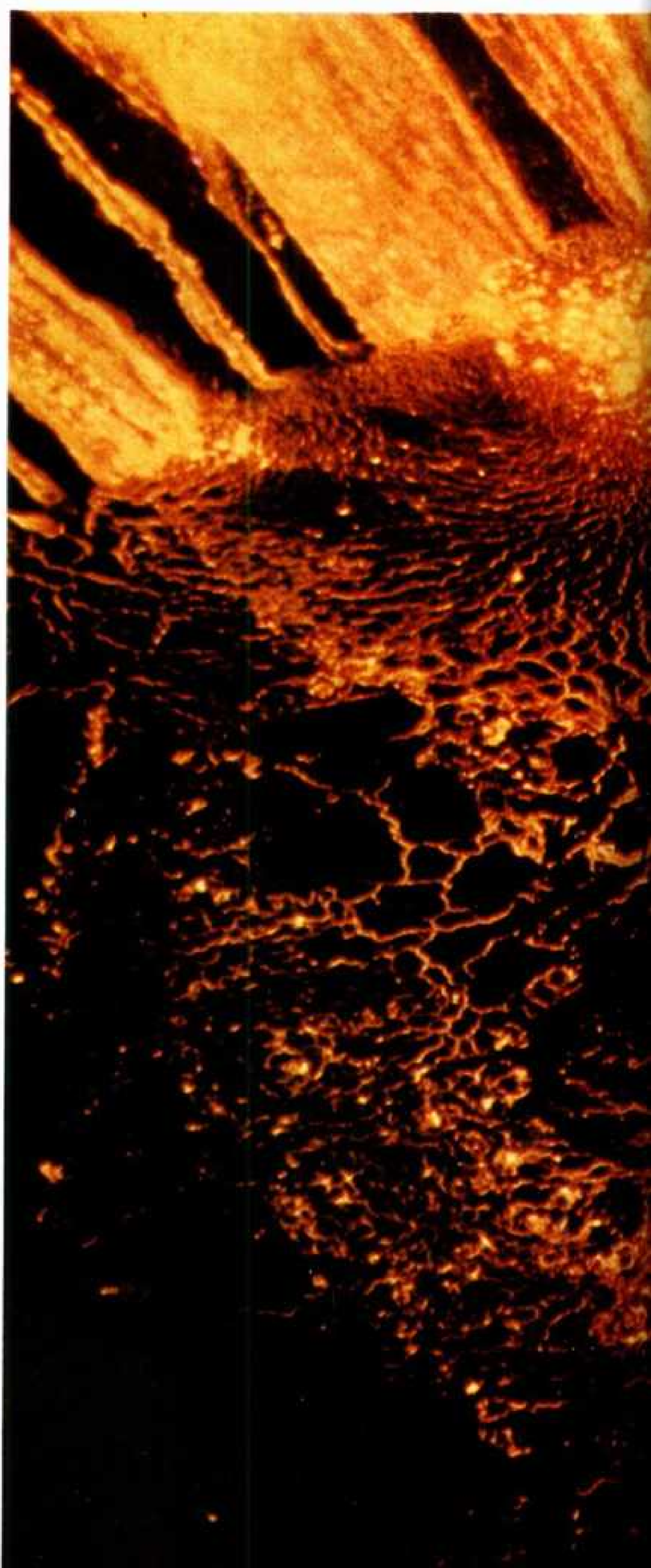
Las islas y las montañas submarinas

Un rápido vistazo sobre el mapa batimétrico del Pacífico nos muestra largas cadenas de montañas submarinas y de islas que los exploradores han bautizado a veces con nombres poéticos (Tahití fue llamada por los europeos «La nueva Citerea»). Algunos de estos archipiélagos fueron el escenario de grandes batallas durante la Segunda Guerra Mundial. Todos evocan paraísos para las vacaciones: las islas de la Sociedad, las Tuamotú, las Marquesas, las Ellice, las Gilbert, las Marshall, las Hawai, prolongadas por la enigma. De hecho, tal como dice el gran sabio británico, estos atolones son «centellantes piedras blancas sobre la tumba de volcanes profundos». En el origen de cualquier isla coralífera hay un cráter eruptivo que aflora a la superficie de las olas. Los pólipos se establecen en él y empiezan a construir su obra; necesitan para ello luz, ya que viven en simbiosis con las algas verdes (zooxantélicas), que les proporcionan oxígeno y materia orgánica. Ocurre a veces que la masa de coral es tan grande que provoca un derrumbamiento del zócalo volcánico; se encuentran así zócalos coralinos fósiles a más de 100 metros de profundidad, donde nunca han podido vivir. Antes de Darwin, los naturalistas no conseguían comprender esto.

Los científicos han confirmado y precisado recientemente las hipótesis de Darwin, al estudiar, gracias a perforaciones y a otras técnicas geológicas, el proceso de formación de las islas Hawai. Este tipo de archipiélago volcánico se forma cuando el zócalo del océano, puesto en movi-







cordillera sumergida de Emperador... Los arcos insulares, bordeados por profundas fosas, surgieron en el transcurso de procesos eruptivos cataclísmicos. Se deben al enterramiento de una placa tectónica bajo otra. Por el contrario, los sistemas aislados en mitad del océano, como el de las Hawai, deben su existencia a un vulcanismo basáltico en el que la lava es muy fluida y se extiende en grandes capas, pero sin producir explosiones.

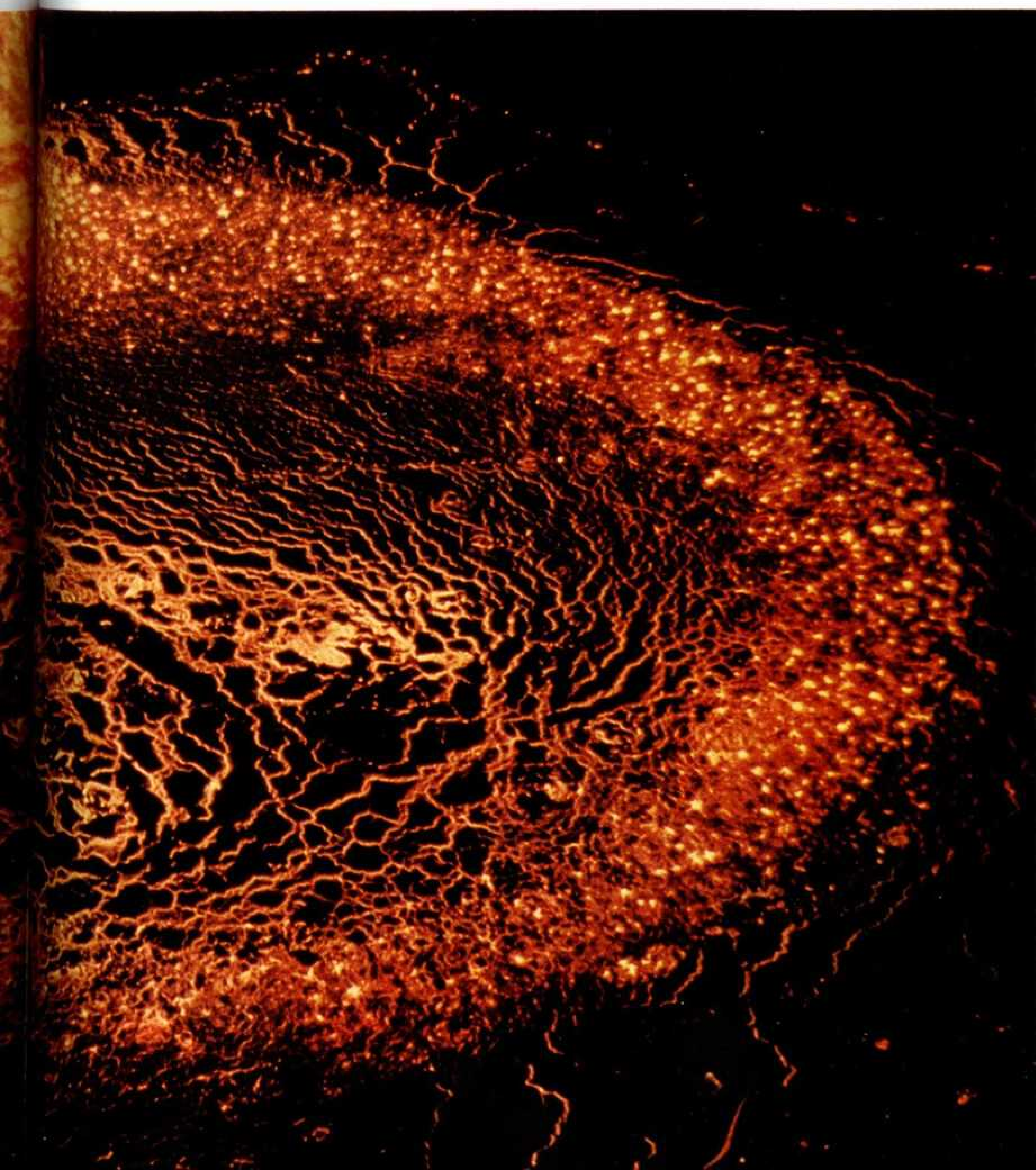
Hasta el siglo XIX, el origen de los atolones de coral perdidos en mitad del Pacífico era un misterio. Algunos naturalistas habían comprendido parcialmente su forma de constituirse, pero fue Darwin, en su célebre monografía, el que desveló el

El nacimiento de los volcanes interiores: *Los volcanes situados en el mismo corazón del Pacífico no tienen el mismo origen que los del «cinturón de fuego». Corresponden a «puntos calientes» del manto terrestre, por los que, gracias a corrientes de convección, la lava en fusión rompe la costra basáltica del océano y surge en el mar, construyendo conos que alcanzan alturas de hasta 4.000 metros de altura sobre el nivel del mar (esquemas de arriba, mapa de arriba). Este tipo de volcanismo es llamado hawaiano. Página de la derecha: arriba, la isla de Hawai, fotografiada desde un satélite, con el Mauna Loa, el Mauna Kea y el Kilauea; a la derecha, la costa de la isla; abajo, el cráter del Kilauea, antaño ocupado por un lago de lava.*



miento por las fisuras de las dorsales medio-oceánicas, pasa por encima de un «punto caliente» del manto terrestre. Se llama así a una región del globo a cuyo nivel una corriente de convección perfora la superficie, dando lugar a un vulcanismo basáltico. El magma surge durante todo el período en que el zócalo oceánico se encuentra encima del «punto caliente». Cuando se sobrepasa este último, si los volcanes son lo suficientemente altos como para rozar la superficie oceánica, los corales se instalan. Pero los volcanes





se van hundiendo progresivamente. Si el nivel del agua sube con mayor rapidez que el ritmo de crecimiento de los pólipos, tan sólo permanece una montaña submarina, un *guyot* (del nombre del geólogo suizo Arnold Guyot). Si el agua sube un poco más aprisa que el ritmo de crecimiento, se forma un atolón circular. Si sube más despacio que el crecimiento de los pólipos, vemos aparecer una barrera de coral. En general podemos establecer un estrecho vínculo, en función del tiempo transcurrido y de la distancia al punto caliente, entre la naturaleza del volcán y la del arrecife de coral que le acompaña. Por supuesto, un gran número de variables perturban el fenómeno. Por ejemplo, allí donde circulan corrientes frías, el coral encuentra dificultades en crecer y el atolón no se forma.

Además, no todos los relieves coralinos están asociados al vulcanismo. La Gran Barrera, que se extiende entre Australia y Nueva Guinea con una longitud aproximada de 2.000 kilómetros, y que es el mayor arrecife del mundo, tiene por zócalo la plataforma continental australiana, muy poco profunda en estas regiones. Los pólipos han colonizado por millones este biotopo original, al que han atraído (debido al refugio y a la comida que proporcionan) a centenares de especies animales: esponjas, anémonas de mar, erizos, estrellas de mar, conchas de todas las formas, pulpos y peces multicolores...

Las costas del Pacífico

El mayor océano del mundo posee una variedad de costas inigualable, desde los fiordos de Alaska y del sur de Chile a las playas encantadoras de Tahití o de las Marquesas, y desde los manglares exuberantes de Nueva Guinea a las lagunas desérticas de la Baja California. Pero más allá de las variaciones locales debidas a la acción directa del mar y de los agentes atmosféricos, el Pacífico se caracteriza por un tipo de costas que difieren estructuralmente de las del Atlántico o de las del Indico. En estos dos últimos casos se trata de océanos en expansión. En el caso del Pacífico, la cuenca está empequeñeciéndose. Este hecho conlleva que todas las formaciones costeras (arcos insulares, acantilados, playas, montañas) se hallen dispuestas más o menos paralelamente las unas respecto a las otras. En el este de la cuenca del Pacífico, las orillas son muy «simples»: América del Norte y América del Sur se hunden en forma abrupta en el mar; la plataforma continental es extremadamente estrecha. Por el contrario, en el oeste existen anchas plataformas de poca profundidad, como la del mar de Ojotsk, la del mar de China o la del Nordeste de Australia.

Las costas orientales son en su mayoría áridas, debido a las corrientes y a las condiciones atmosféricas particulares que albergan. Estos factores se traducen en una notable ausencia de precipitaciones.





De los hielos polares a las barreras de coral. *El océano Pacífico ocupa más de un tercio de la superficie de la Tierra. Todos los paisajes se hallan representados en él, desde los hielos polares hasta las encantadoras islas de los trópicos, pasando por las costas desérticas y los manglares exuberantes. Página siguiente: el impresionante glaciar de Bering, en Alaska, visto desde satélite (arriba) y desde el mar (en el centro); abajo, a la izquierda: el lago Titicaca, la cordillera de los Andes y la costa del Pacífico; abajo, a la derecha: la costa del Perú y la de California. En esta página: tres fotos de los atolones y de las llanuras de arrecife de la Gran Barrera de coral australiana. Son biotopos de una riqueza excepcional, en los que pululan las esponjas, los celentéreos, los equinodermos y los peces.*



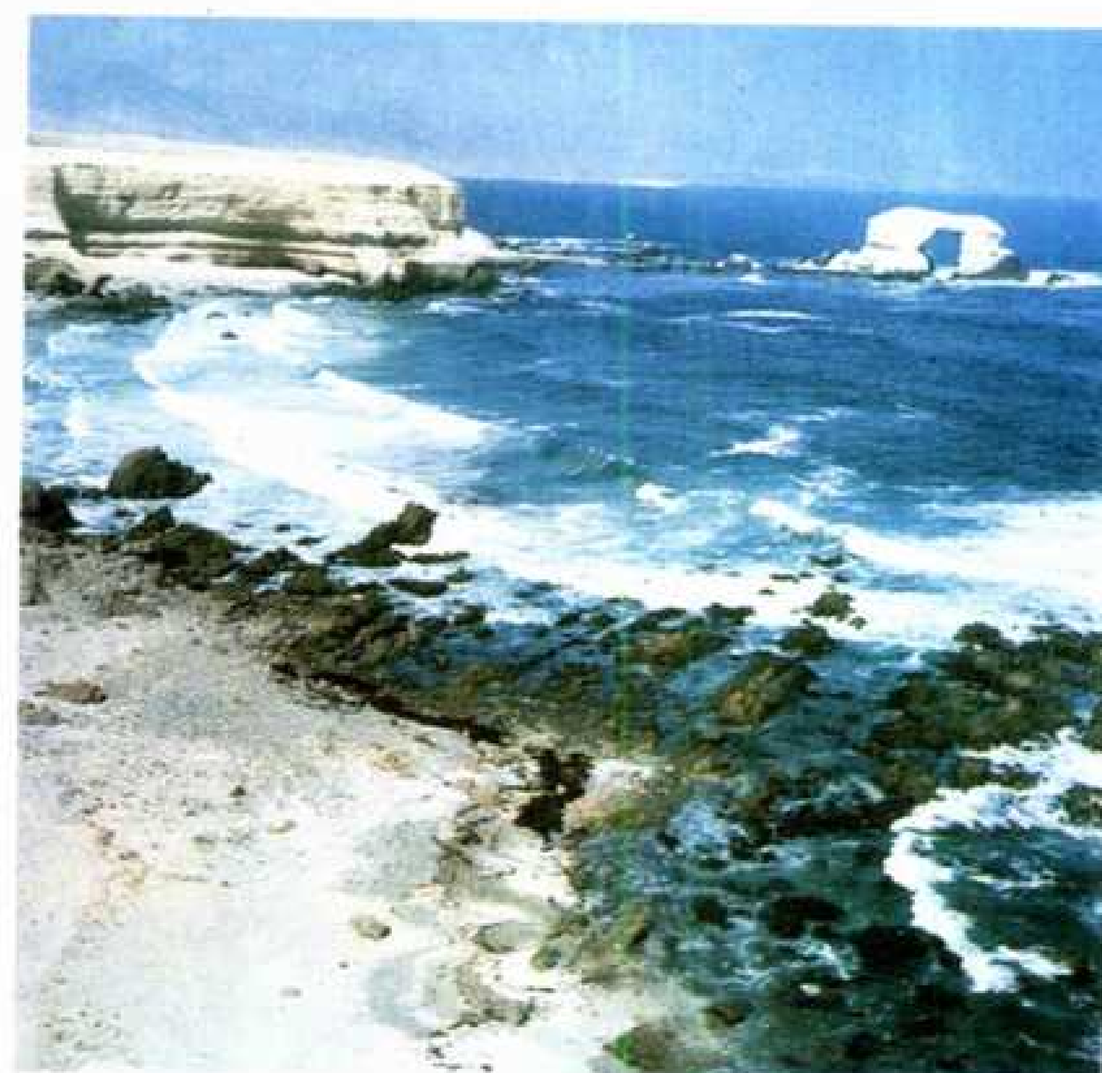
Los desiertos de la Baja California (en cuyas lagunas se reproducen las ballenas grises) tienen una belleza desolada que volvemos a encontrar en Chile, en la región de Atacama, una de las más áridas del mundo.

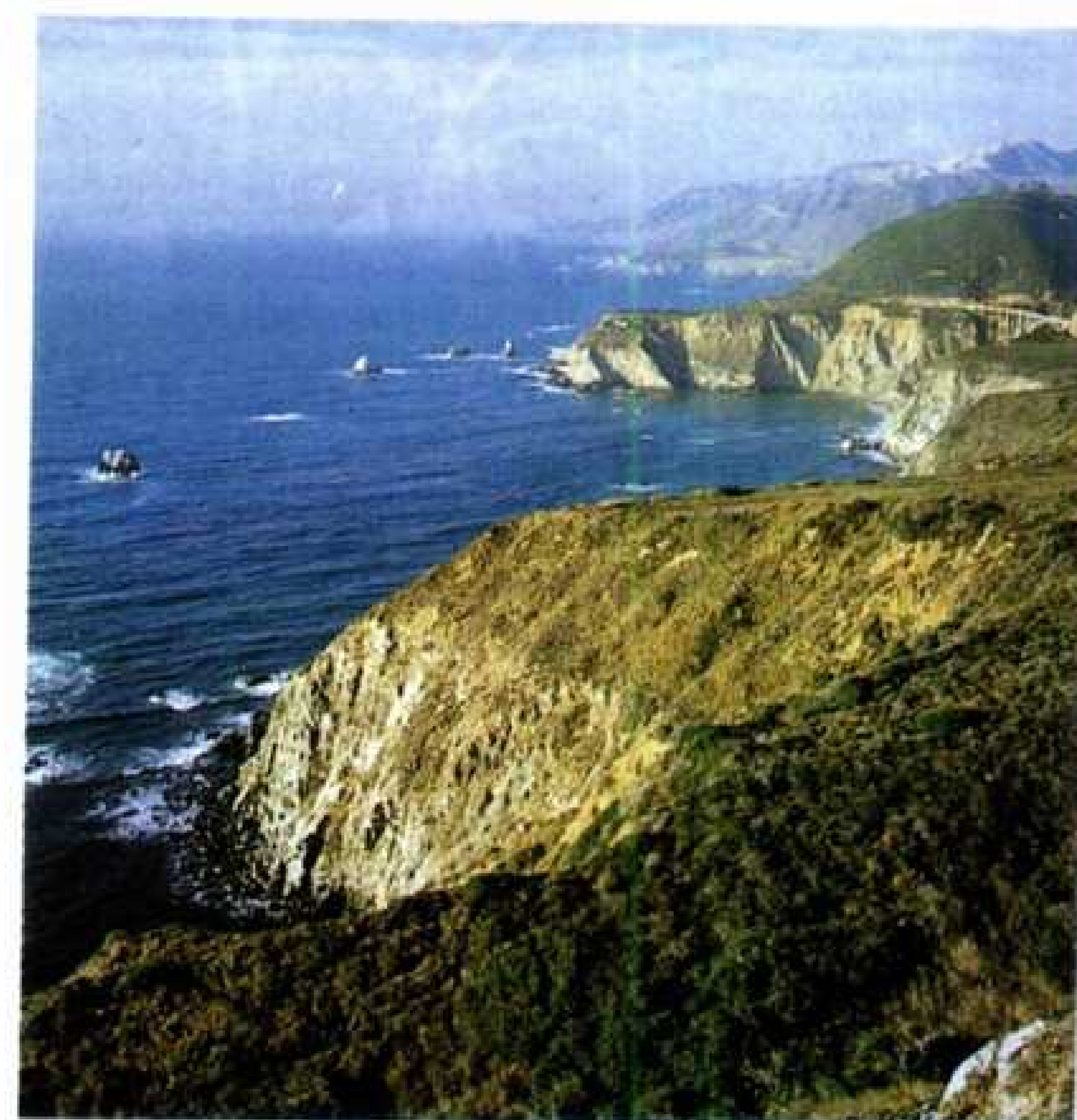
Pero el rasgo más sorprendente de la facies costera del Pacífico reside en sus formaciones coralinas. Son escasas en la parte oriental de la cuenca (sólo se encuentran en la Baja California, en Panamá y en las islas Galápagos). Por el contrario, abundan en el occidente en todas las islas. Desde las Tuamotú y las islas de la Sociedad hasta Nueva Caledonia y Australia, desde el archipiélago de las Hawai hasta las Marianas y el sur del Japón, en cualquier lugar los corales y las madréporas, esos «faraones del mar», construyen sus arrecifes, prodigiosos de formas y de vida. La Gran Barrera australiana, que mide 2.000 kilómetros de longitud y que ocupa una superficie de 200.000 kilómetros cuadrados, alberga cientos de especies curiosas o espléndidas de esponjas, celentéreos, briozoos, moluscos, crustáceos, equinodermos y peces, desde los admirables peces mariposa y peces ángel hasta los tiburones blancos y las mantas gigantes. Los corales ofrecen refugio y alimentación a muchos organismos, pero son un ecosistema frágil.









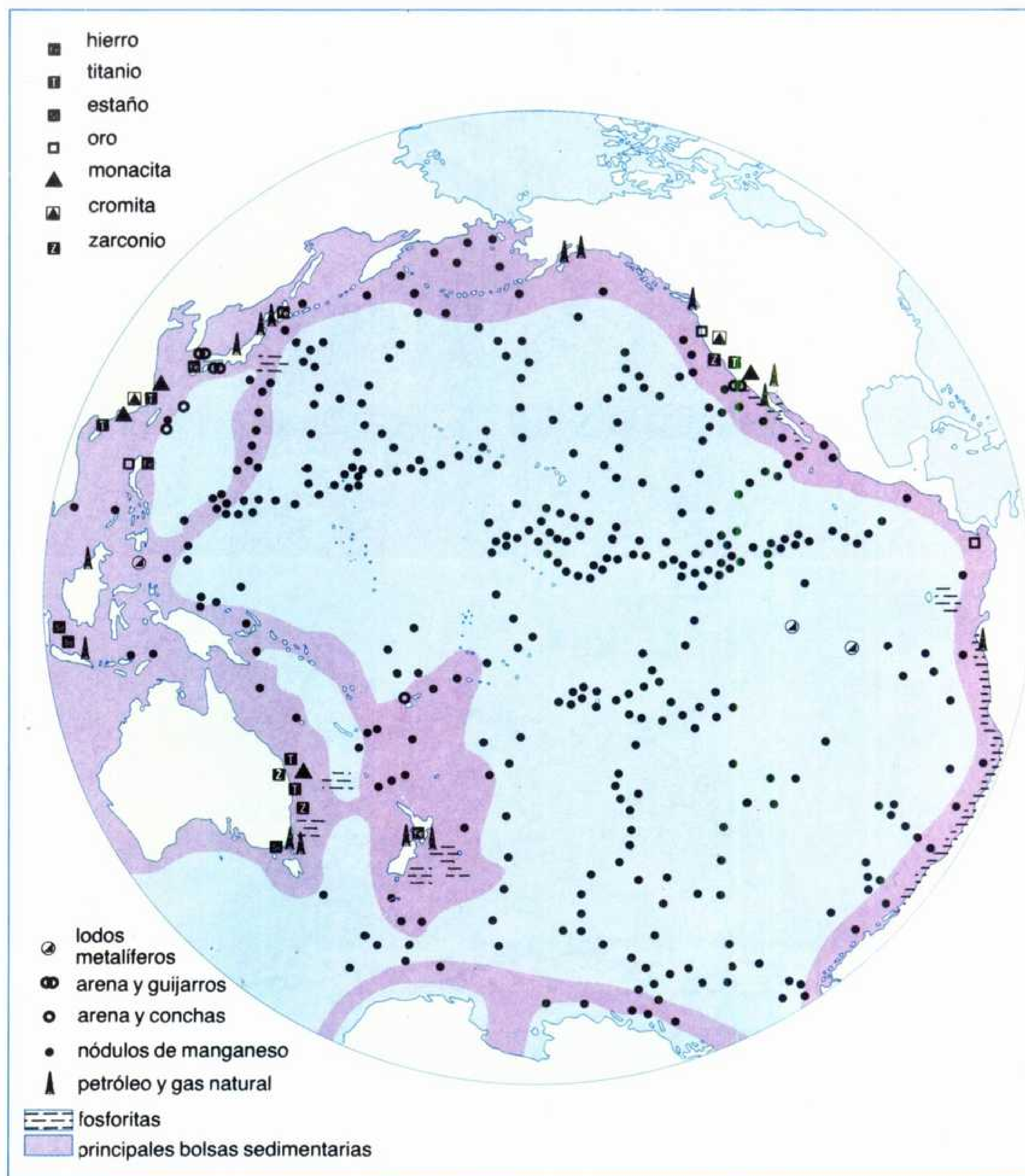


Sedimentos y recursos minerales

DESPUÉS de la expedición británica del *Challenger*, en el siglo pasado, se tuvo una idea general de la naturaleza y de la distribución de los sedimentos marinos. Las campañas oceanográficas modernas y las hipótesis geológicas recientes (en especial, la de la tectónica de placas) han permitido precisar sus orígenes y su modo de constituirse.

En líneas generales, cuanto más nos acercamos a las masas continentales mayor es el espesor de los sedimentos: se debe a la aportación de los ríos. Los estratos de acumulación son igualmente importantes en el recorrido de algunas corrientes, como las que transportan icebergs, o en las regiones muy ricas en vida, donde los cadáveres de las algas o de los animales caen al fondo acumulando sus conchas de caliza o de sílice. Por el contrario, en las zonas próximas a las dorsales medio-oceánicas, donde se efectúa la renovación del fondo oceánico, los sedimentos son prácticamente nulos.

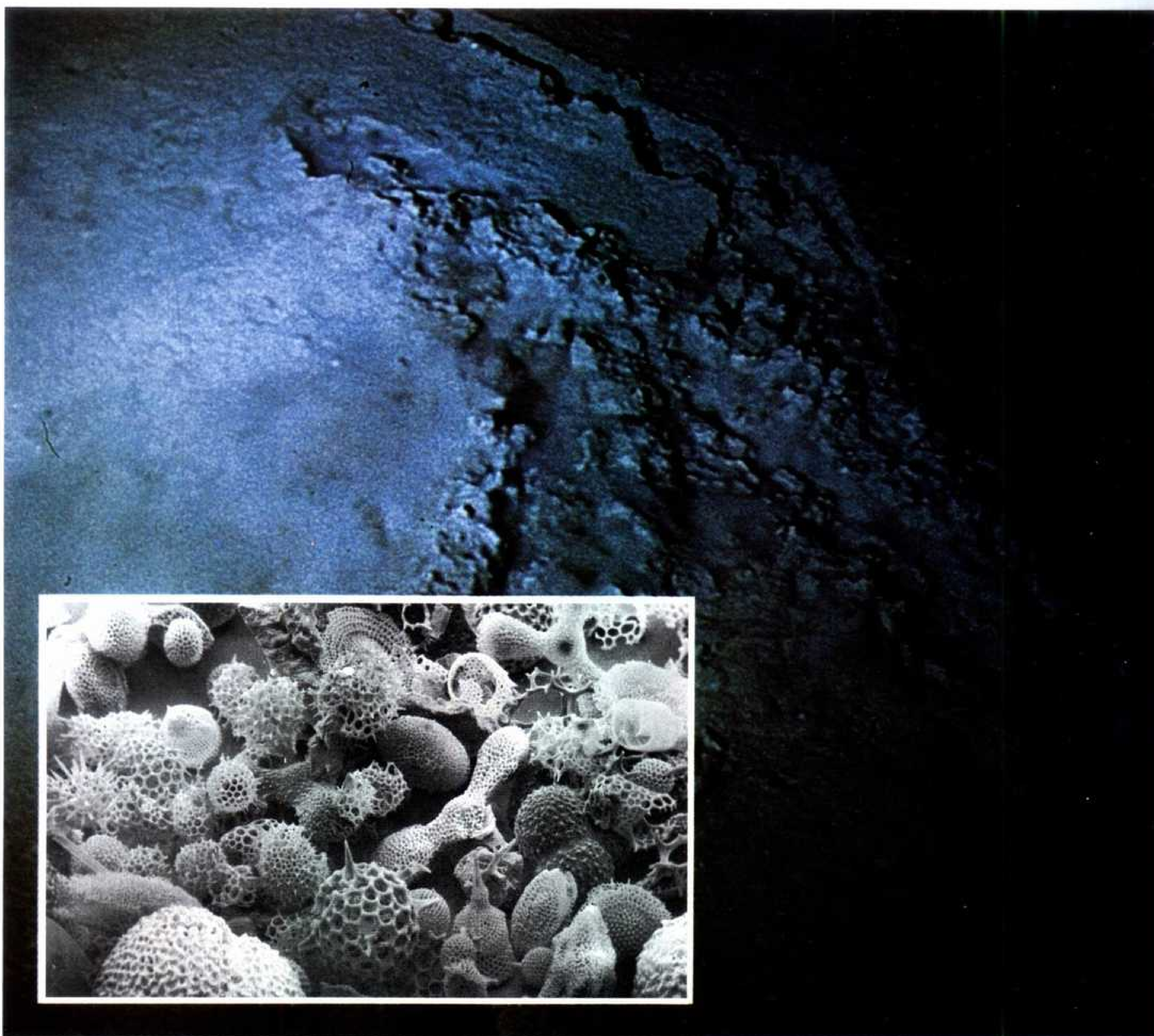
Los ríos aportan pocos sedimentos orgánicos y minerales al océano Pacífico. La mayoría llega al mar de Ojotsk (río Amur), y fundamentalmente al mar de China (Huang-ho, Yangtze Kiang) y al mar de China meridional (río Rojo, Mekong). En el fondo del Pacífico se encuentran sobre todo carbonatos, lodos silíceos y arcillas pelágicas. Los carbonatos se presentan bajo el aspecto de estratos blancuzcos; están formados por conchas de animales acuáticos y ocupan alrededor de un tercio del suelo del gran océano. Se hallan a menos de 4.500 metros de







***Un descubrimiento del* Challenger.** *Hace alrededor de un siglo, el barco oceanográfico inglés* Challenger *descubrió en el fondo del Pacífico los primeros nódulos polimetálicos. Estas patatas minerales contienen principalmente manganeso, pero también níquel, hierro, cobalto, zinc y muchos otros metales. En la actualidad se intenta explotarlos. Otros recursos minerales abundan en el fondo del océano, como el azufre cerca de los volcanes submarinos. Arriba, un afloramiento de azufre, fotografiado por el sumergible* Alvin.



Los sedimentos y los recursos. *El mapa de la página anterior da una idea de la riqueza del océano Pacífico en minerales de todas clases. Además de las cápsulas polimetálicas, se explotarán con seguridad en un futuro cercano los yacimientos de petróleo y de gas natural, de fosfatos, de metales preciosos, etc. El estaño abunda en los alrededores de Indonesia. Los lodos metalíferos son muy ricos en algunas zonas de la dorsal del Pacífico oriental. Los sedimentos que se acumulan sobre el fondo del océano tienen un origen muy diverso: algunos provienen de los ríos, otros de los volcanes, de los icebergs, o de los meteoritos. Los más abundantes tienen un origen biológico: son carbonatos (producidos por restos de conchas o de caparazones de animales) y silicatos, debidos a las conchas de los radiolarios, de los foraminíferos y de las diatomeas.*

profundidad, ya que por debajo de este nivel la presión es tan importante que no resiste ni la estructura de los cristales de carbonato cálcico. Los carbonatos son especialmente abundantes en la región de alta productividad biológica que forma la Divergencia Ecuatorial. Perforaciones realizadas por el *Glomar-Challenger* (en el marco del Deep Sea Drilling Project) han demostrado que la acumulación de estos sedimentos se ha efectuado de forma muy irregular en el transcurso de los tiempos geológicos. De esta manera se ha podido deducir la historia de los climas del Pacífico y de las modificaciones de la circulación de las aguas profundas en este océano.

Por su parte, los lodos silíceos provienen del esqueleto de algunos organismos planctónicos, como las diatomeas y los radiolarios. Por supuesto, abundan en los sectores de alta productividad biológica, y se les encuentra por debajo de los 4.500 metros de profundidad.

Las arcillas rojas pelágicas se encuentran igualmente a más de 4.500 metros de profundidad. Están constituidas por residuos de sustancias insolubles, de detritos minerales (polvo volcánico traído por el viento, arenas del Antártico arrastradas por el derretimiento de los icebergs y micrometeoritos). Sin embargo, no debemos imaginarnos el fondo del Pacífico como un soporte inerte sobre el que llueven interminablemente sedimentos que se acumulan con rapidez en capas regulares. Las corrientes profundas se encargan de retocar la distribución de los materiales, limpiando el zócalo basáltico en algunas zonas y acumulando en otras enormes depósitos de detritos.

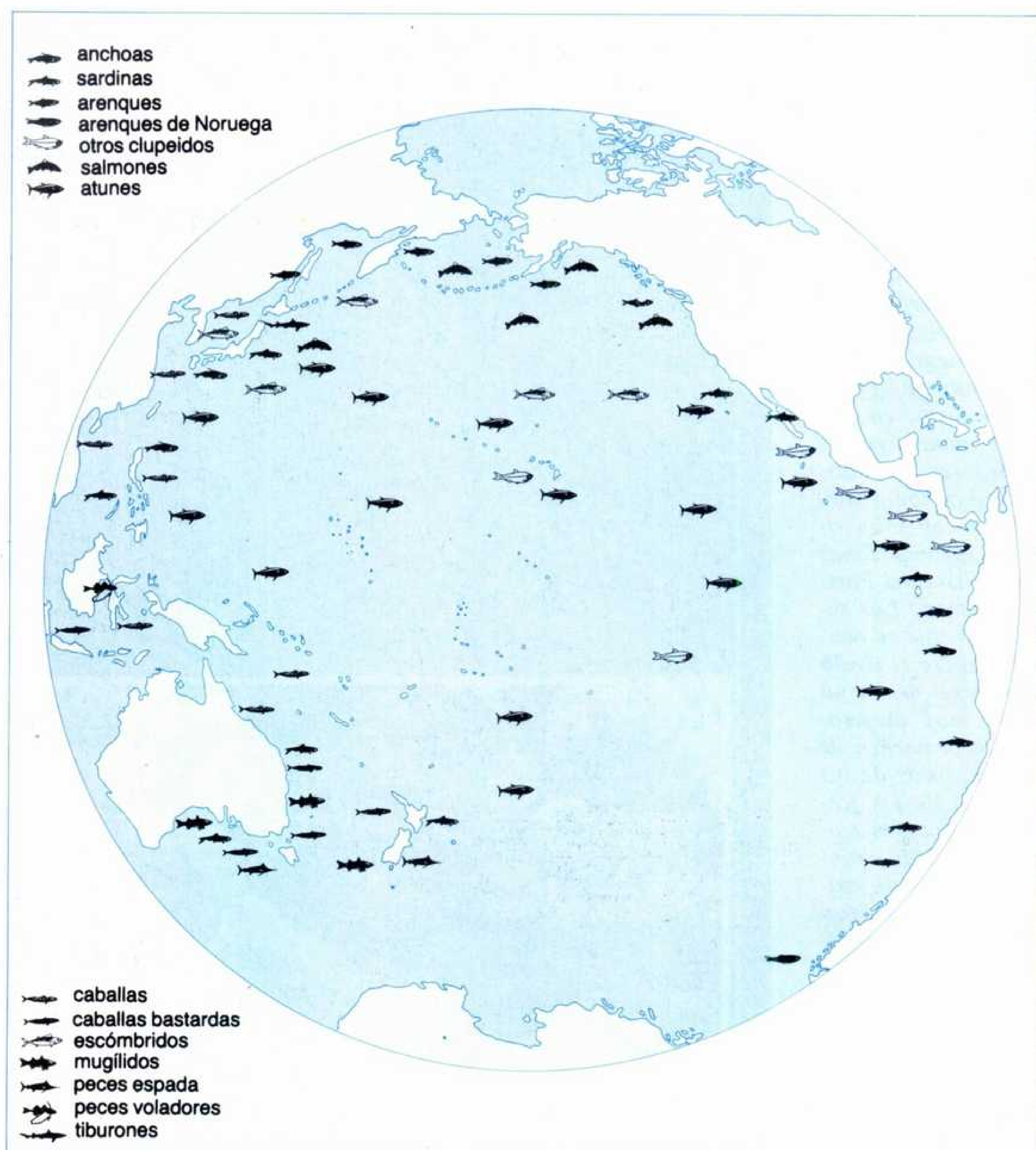
Entre las riquezas que duermen así en el fondo, las más importantes son los fosfatos y los nódulos polimetálicos. Los hidrocarburos (petróleo y gas natural) son escasos, salvo en California y en los mares de China. Los nódulos polimetálicos, cargados principalmente de manganeso, abundan en las llanuras abisales situadas entre las islas Hawai y México.

Los fosfatos están presentes fundamentalmente a lo largo de los márgenes del Pacífico, allí donde la subida de aguas profundas ricas en materias nutritivas permite una explosión de vida planctónica. Algunas islas deben su riqueza al guano que depositan las aves marinas. Tal es el caso de Nauru. Esta pequeña tierra independiente casi consiste en una acumulación de excrementos de pájaros. Todos sus habitantes humanos gozan actualmente de un nivel de vida comparable al de los emiratos del petróleo; pero esta riqueza tiene su contrapartida: los nauruanos son casi todos obesos, diabéticos y cardiacos, porque se alimentan exclusivamente de conservas demasiado ricas en grasas o de alimentos industriales demasiado azucarados que importan de los países occidentales. Al ritmo de explotación actual, su guano no durará más de unos quince años.

Cerca de los continentes, los ríos aportan minerales (cobre, oro, estaño, etc.) que arrancan a las montañas. En otras regiones son los volcanes los que enriquecen los sedimentos oceánicos con diversos materiales. En época muy reciente se han descubierto en el fondo del Pacífico manantiales hipersalados y calientes. Alrededor de estas «fuentes abisales», ricas además en compuestos minerales de todas clases, proliferan extrañas criaturas marinas.

Los recursos biológicos

COMO ocurre en los demás océanos, las zonas de pesca más interesantes del Pacífico son, por una parte, los mares poco profundos (favorables a la proliferación del plancton) y, por otro lado, las regiones de subida de aguas profundas, frescas y ricas en nutrientes. Los pueblos del Pacífico (japoneses, chinos, malayos, melanesios, polinesios...) extraen desde siempre una parte importante de sus proteínas del océano. Pero a partir de la Segunda Guerra Mundial la demanda no ha dejado de aumentar, a la vez que las técnicas de pesca se han ido haciendo más eficaces. Este hecho ha originado un aumento considerable de las capturas, que no durará, por desgracia, mucho tiempo. La sobreexplotación amenaza a la mayoría de las especies comerciales, y se observa (con una cierta demora respecto a otros océanos) una disminución de las cifras de captura por tonelada embarcada.
Pese a todo, la zona de pesca más productiva del mundo sigue siendo la situada en el punto de encuentro de las corrientes cálida ecuatorial y fría de Humboldt, frente a las costas de Perú. Durante muchos años fue la fuente de riqueza de los armadores de este país, especializado en la explotación de inmensos bancos de sardinas y de anchoas (anchovetas). Sin embargo, aquí también amenaza la sobreexplotación. Después de haber sido la primera potencia pesquera del mundo, desde finales de los años sesenta, Perú ha retrocedido. Los responsables locales se preguntan si no habrán matado la gallina de los huevos de oro, al haber pescado sin ningún cálculo ni planificación para producir esencialmente harina de pescado, destinada a engordar el ganado de los países ricos. La caída del tonelaje de las capturas desde 1971 es sólo en parte imputable a las fantasías de la corriente de *El Niño*.
Como los otros mares, el Pacífico es esencialmente el campo de actividad de las flotas de pesca japonesa y soviética. Lo surcan permanentemente y lo saquean sin vergüenza, acosando a los bacalaos en las cercanías de Alaska o pescando atunes en las Hawai o las Tonga. Soviéticos y japoneses siguen apoderándose igualmente de los cachalotes, de los pequeños rorcuales, de los globicéfalos y hasta de los delfines del Pacífico; las especies protegidas de cetáceos son cazadas furtivamente.
Los crustáceos, de los cuales se capturaron más de 900.000 toneladas en 1974, se pescan sobre todo en las aguas costeras de Asia oriental. Las gambas constituyen un aporte proteínico capital para millones de personas. Los atunes, presentes en el conjunto de los mares cálidos, son apresados esencialmente en las aguas de la corriente ecuatorial. Los salmones, que pasan la mayoría de su vida en el mar de Bering y cerca de la cordillera de las Aleutianas, remontan los ríos de América del Norte y de Siberia para ir a reproducirse en el arroyo donde nacieron; son capturados masivamente en los estuarios.
Con relación a su superficie, el océano Pacífico es menos productivo que el Atlántico, aunque suministra la mayor parte de las capturas de la pesca mundial. El mayor tonelaje capturado en un año ha sido de 33 millones de toneladas; era al principio de la década de 1970. Desde entonces se observa que los totales se estabilizan en menos de 25 millones de toneladas, e incluso declinan en progresión (actualmente, menos de 23 millones). Aquí, como en cualquier otra parte, el hombre no puede contentarse con proseguir, con medios industriales, una actividad de simple recolección.







La pesca. *El océano Pacífico ha sido un poco menos sobreexplotado que los otros mares. Las zonas más productivas son, por una parte, los márgenes continentales y, por otro lado, las regiones de subida de aguas profundas. Arriba, las principales especies pescadas. A la izquierda, la importancia del Pacífico en el contexto mundial. A la derecha, las capturas, en millones de toneladas.*

Los mares marginales de Asia oriental

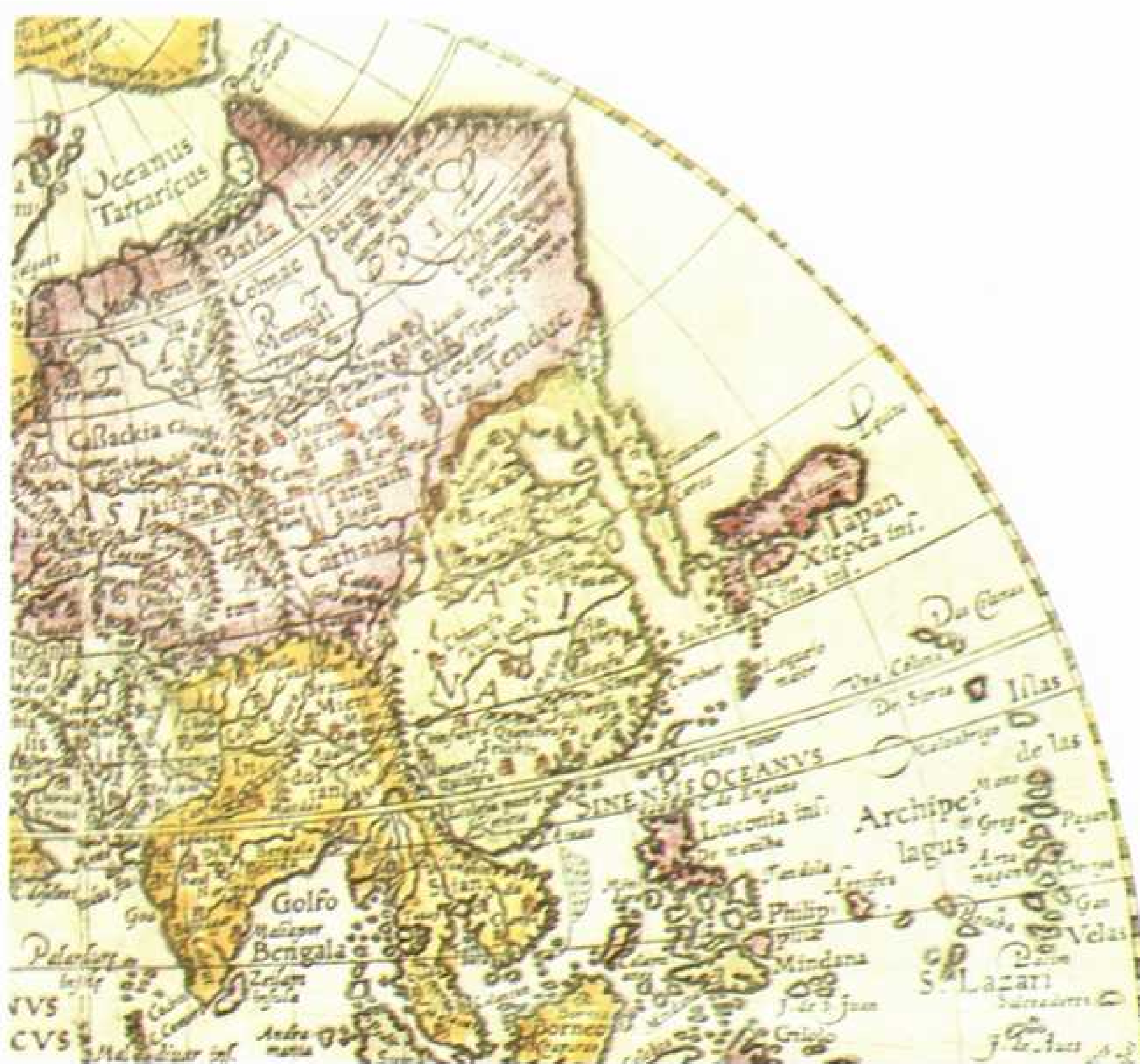
De la prehistoria a la historia

Los países del Extremo Oriente han ejercido desde siempre una gran fascinación sobre el Occidente. Las costas orientales del continente asiático están bañadas por mares mayores que el Mediterráneo, y rodeadas por civilizaciones igualmente prestigiosas. Hay cuatro cuencas principales, con numerosas cuencas satélites: el mar de China meridional, el mar Amarillo (o mar de China oriental), el mar de Japón y la de Ojostsk.

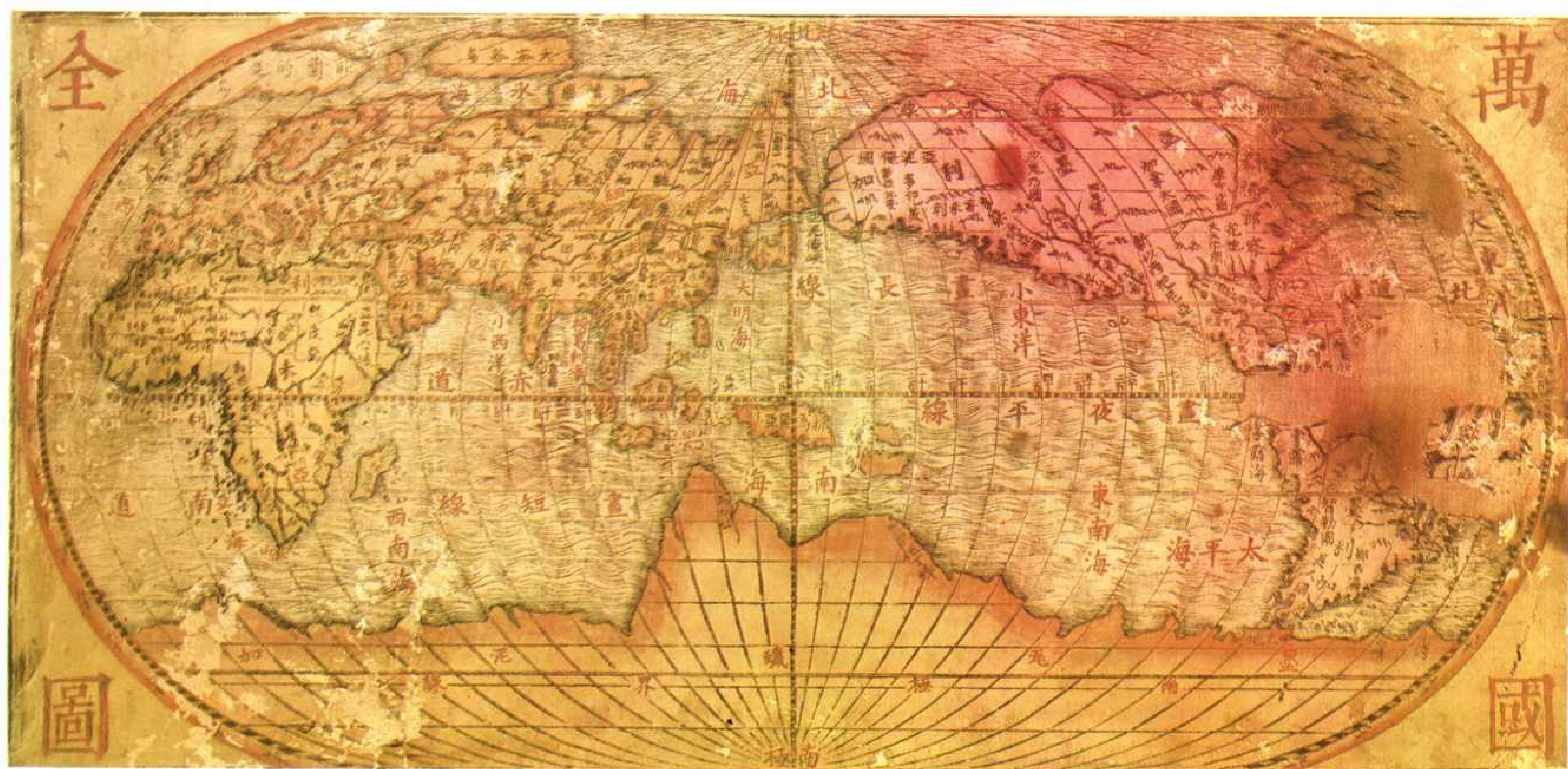
La prehistoria del Extremo Oriente es poco conocida, pese a recientes descubrimientos en China. Sin embargo, parece que fue, después de Africa —verdadera cuna de la humanidad— y del Oriente Medio, una de las regiones de la tierra habitada desde hace más tiempo por nuestros antepasados. Los fósiles de homínidos encontrados en Chukutien han sido atribuidos a *Homo erectus*, un predecesor de *Homo sapiens* que vivía durante el Pleistoceno, hace un millón de años. Posteriormente, hombres de Neandertal o razas humanas análogas se instalaron en estos parajes. Sus descendientes colonizaron durante las últimas glaciaciones del Cuaternario el conjunto de tierras emergidas, pasando de Corea a Japón y de Siberia a Alaska.

Los prehistoriadores tan sólo han iniciado su trabajo en Extremo Oriente. Saben ya, sin embargo, que la agricultura y la utilización de metales (del bronce) empezaron muy tempranamente en los valles de los ríos de China y de Indochina. La revolución neolítica tiene aproximadamente la misma antigüedad en China que en el Oriente Medio; data de hace 10.000 u 11.000 años. La cerámica de Japón llamada pre-Jomon es la más antigua que se conoce: tiene 11.000 años.

Los mares marginales del Extremo Oriente fueron surcados ya en el Neolítico por los navegantes y los comerciantes. Los chinos habían exportado su cultura a Japón, a Taiwan y a las Filipinas antes del principio de la era cristiana. En el









Los misteriosos mares de Extremo Oriente. Los mares de Asia oriental han visto florecer en sus costas civilizaciones tan antiguas, tan prestigiosas y tan brillantes como las del Mediterráneo. Página de la izquierda, arriba: un planisferio europeo del siglo XVII (a la izquierda) y otro del siglo XVIII (a la derecha). Abajo, un planisferio chino del siglo XVIII. El biombo japonés (arriba) de la escuela Kano muestra la llegada de los portugueses, llamados bárbaros del sur, a la isla de Kyushu. Abajo: un junco en el puerto de Haiphong, en Vietnam. A la derecha: panorámica de una «ciudad flotante» de Hong Kong.





siglo III a. de C., una colonia india había sido fundada en el delta del Mekong.

El acceso al mar de China meridional, y posteriormente al mar Amarillo y al mar del Japón, fue encontrado por los europeos sólo en el siglo XVI, y se debió a los portugueses. Consiguieron fundar en el camino de Cathay (China) y de Cipango (Japón) una serie de sucursales comerciales fortificadas, cuyo último reducto operativo está constituido por el puerto de Macao. Data de 1557, y tiene por vecino a Hong Kong, una de las últimas colonias británicas, que devolverá a China en el año 1999.

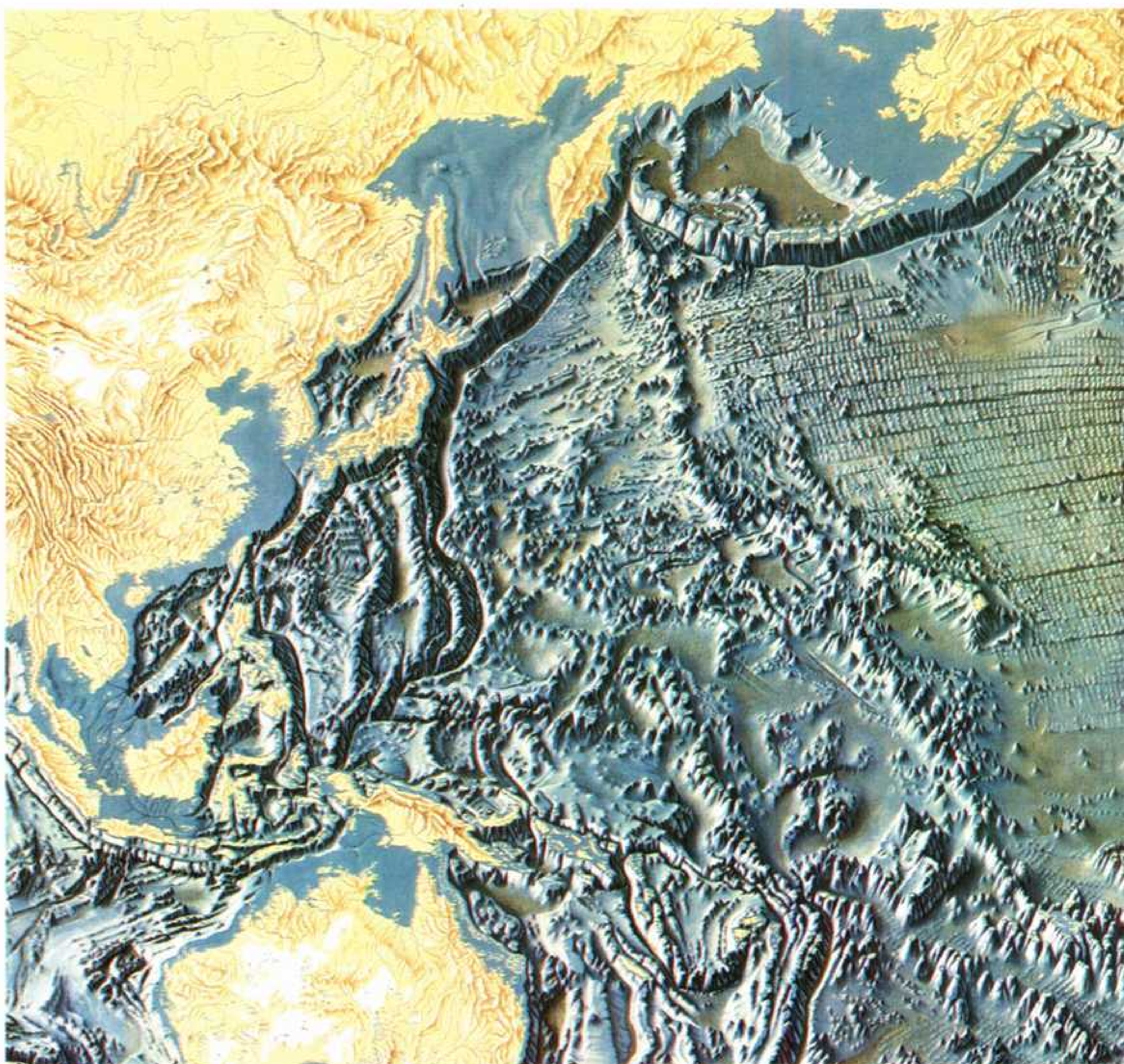
A pesar de su sucursal de Macao, los portugueses no consiguieron realmente «abrir» China al comercio internacional. Se establecieron en el Japón, especialmente en Kagoshima (en 1554) y en Nagasaki (en 1571). Las dificultades empezaron rápidamente. Además, los marinos portugueses hubieran preferido apoderarse de las Filipinas, que permanecieron unidas a España después de la primera vuelta al mundo de Magallanes. Desde el siglo XVI al XIX, los países orientales se cerraron a los occidentales. Hubo que esperar hasta la guerra del opio, en 1840, para que los chinos aceptaran abrir cinco de sus puertos a los ingleses. Japón hizo lo mismo en 1858. En 1884, Francia impuso su protectorado en el Tonkín. Conocemos todos la atormentada historia de estas regiones en el siglo XX: el drama indochino, con la espantosa sucesión de guerras especialmente crueles, la tentación militar de Japón y después su prodigioso desarrollo industrial.

Las cuencas y los sedimentos

Los mares de Asia oriental reciben algunos de los ríos más caudalosos del mundo: el Mekong y el río Rojo en el mar de China meridional, el Yangtze Kiang (río Azul) y el Huang-ho (río Amarillo) en el mar Amarillo, el Amur en el mar de Ojotsk.

El mar Amarillo, o mar de China oriental (Huanghai), está tapizado por una espesa capa de materiales fluviales, algunos de los cuales se han acumulado desde el Pleistoceno, y que continúan depositándose debido al aporte de los grandes ríos chinos. El Amarillo debe su nombre a sus aguas muy limosas, que arrastran todos los años cientos de millones de toneladas del famoso loes que atraviesan. El Yangtze Kiang, que drena una gran parte del Tíbet y que es uno de los ríos más largos del mundo, vierte todo los años al mar más de 400 millones de toneladas de aluviones. Los depósitos orgánicos más antiguos del mar Amarillo han dado lugar probablemente a la formación de bolsas de hidrocarburos.

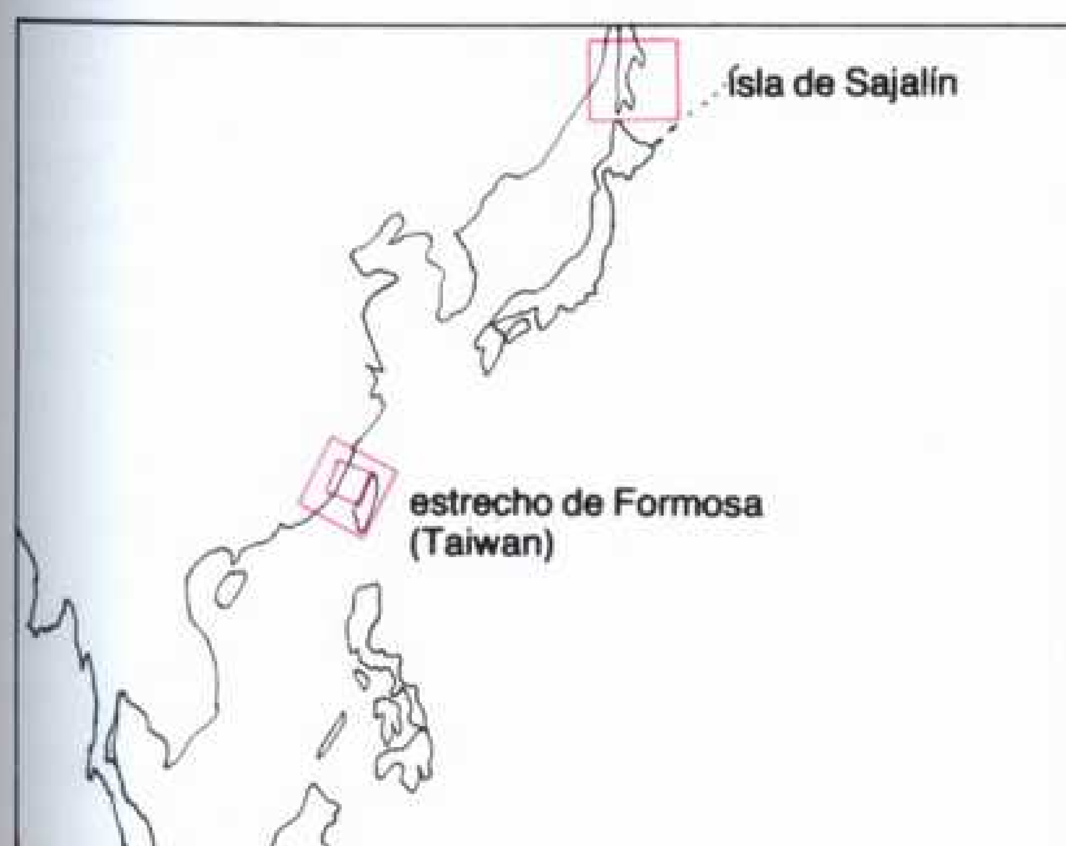
El mar de China meridional (o Nan Hai) limita con China, Vietnam, Camboya, Malasia, Borneo, las Filipinas y Taiwan. Ocupa una extensión de 3.400.000 kilómetros cuadrados, es decir, un poco más que el Mediterráneo y el mar Negro juntos. La plataforma continental es ancha







Los fondos. *La característica esencial de los mares de Extremo Oriente es que poseen una gran plataforma continental. Arriba, el estrecho de Formosa (Taiwan) visto desde satélite. A la derecha, la costa china vista desde satélite, alrededor de la desembocadura del río Minkiang, que muere en el estrecho de Formosa. Página de la derecha: a la izquierda, la isla de Sajalín desde un satélite, y el mar de Ojotsk parcialmente helado. A la derecha, el faro más septentrional de la isla de Hokkaido, visto desde la isla más meridional de las Kuriles.*



entre Taiwan y el golfo de Tonkín (donde desemboca el río Rojo). El golfo de Tailandia es poco profundo en toda su superficie. El Mekong aporta a su enorme delta los aluviones que arranca en los contrafuertes orientales del Himalaya. La cuenca oriental de este mar es tortuosa y relativamente profunda entre Borneo, las Filipinas y Taiwan; alcanza una profundidad de −5.016 metros.

El mar Amarillo está menos excavado. La mayor parte del golfo de Corea y de la plataforma continental frente a Shantung y a Kiangsu tiene menos de 20 metros de profundidad. La profundidad media de la cuenca es de 344 metros. La superficie, calculada entre China continental, Taiwan y Japón, alcanza los 752.000 kilómetros cuadrados. Este mar comunica con el del Japón por el estrecho de Corea, también llamado de Tsushima. El mar Amarillo goza generalmente de un clima templado, pero el golfo de Corea y el de Pohai, que constituyen su región más septentrional, padecen en invierno los rigores meteorológicos de China continental, y se hielan a veces en su superficie. Cerca de Shangai se observan algunas de las mareas de la cuenca del Pacífico hasta 11 metros de altura.

El mar de Japón limita con Corea, Rusia, la isla de Sajalín y el archipiélago nipón. Comunica con el mar Amarillo, el mar de Ojotsk (por el estrecho de La Pérouse y el estrecho de Tartaria) y con el Pacífico (por el estrecho de Tsugaru). Su superficie se acerca al millón de kilómetros cuadrados; su profundidad media es de



1.360 metros, sobrepasando en algunas zonas los 3.000 metros. Su región septentrional se encuentra bloqueada por los hielos durante 120 a 150 días al año.

El mar de Ojotsk, limitado por Siberia, la península de Kamchatka, las islas Kuriles, Hokkaido y Sajalín, tiene una superficie de 1.563.000 kilómetros cuadrados. En general, su profundidad es de unos 400 metros, pero su fosa oriental alcanza −3.374 metros. Se hiela durante seis o siete meses al año.

Monzones, vientos y corrientes

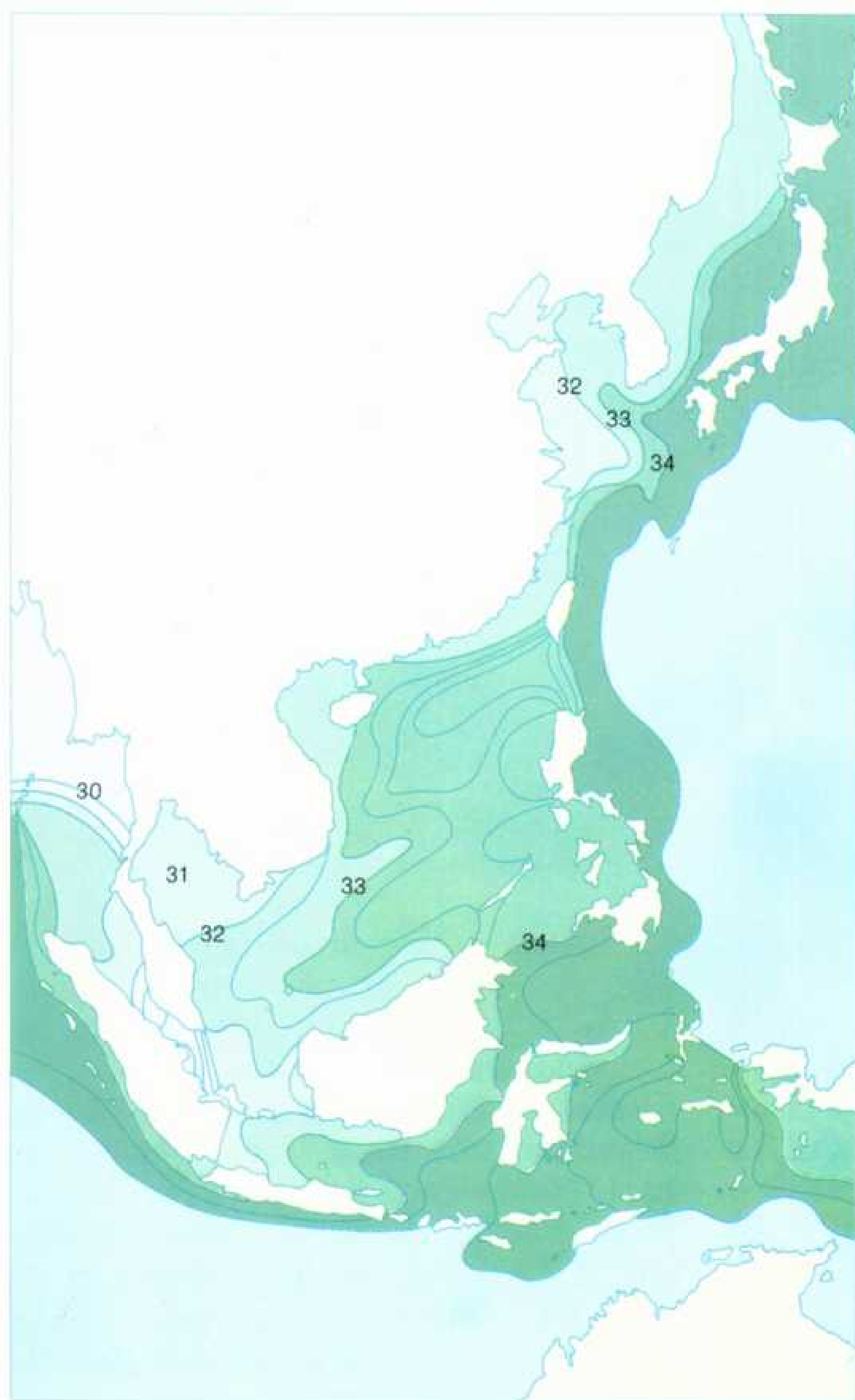
La mayor parte de los mares del Sudeste Asiático y del Asia oriental se ven afectados por los monzones de invierno y verano. En la estación desfavorable, los vientos soplan de tierra hacia el mar, y al contrario en la buena estación. Pueden animar la atmósfera sin pausa durante muchos días, a velocidades superiores a los 50 kilómetros por hora. En invierno son secos. En verano están saturados de humedad.

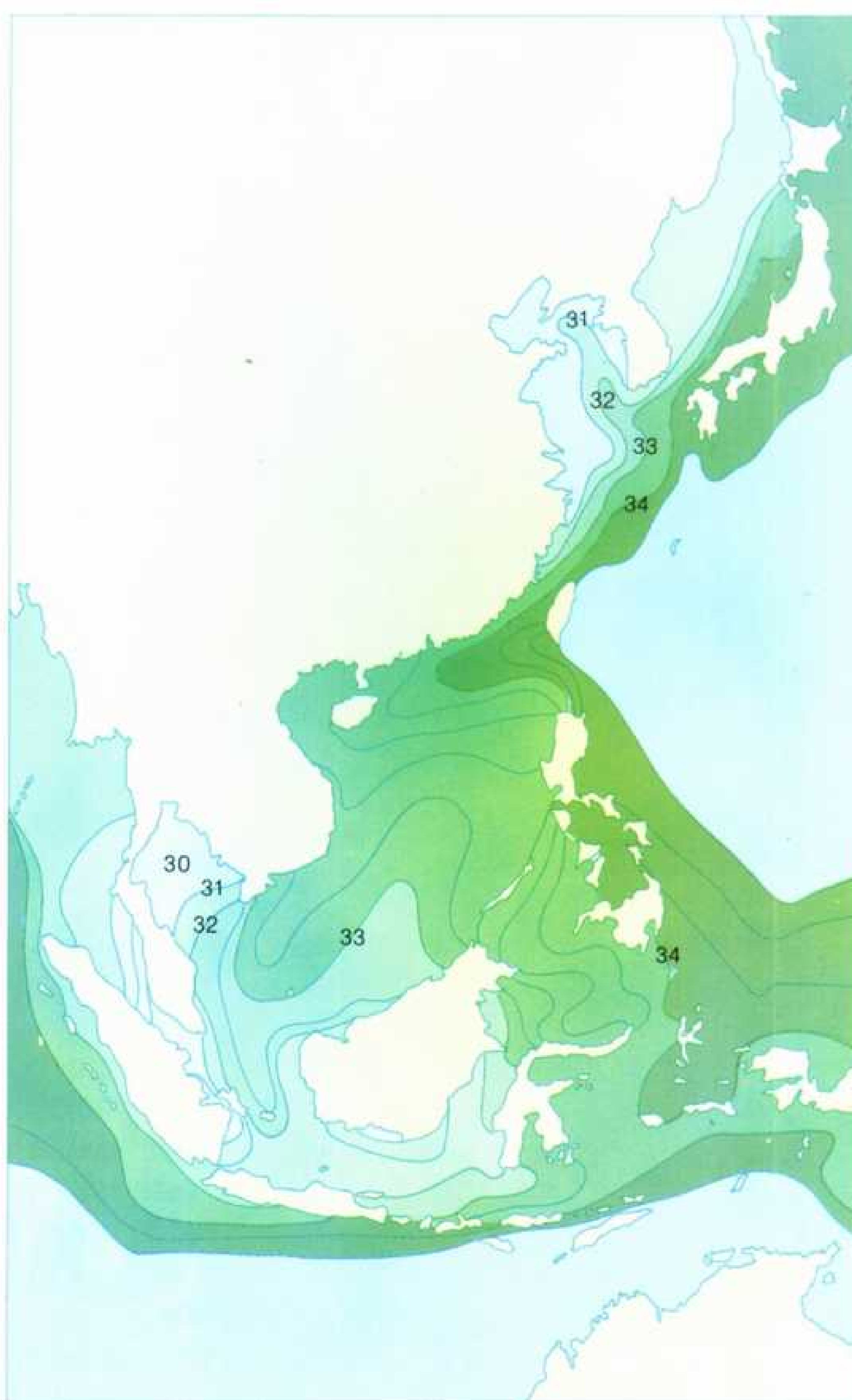
Los monzones se producen porque la tierra y el mar ni absorben ni restituyen toda la energía que reciben del sol. En verano, la masa continental se calienta más rápidamente que la masa acuática; el aire caliente se eleva sobre la tierra y crea una región de bajas presiones que atrae hacia ella a las capas atmosféricas más frescas situadas sobre el mar. El monzón que resulta de este fenómeno posee una humedad que proviene a la vez del mar (por evaporación) y de la tierra: el aire que se ha elevado por encima de esta última se extiende en altura y el vapor de agua que contiene se condensa en nubes y en lluvia. Cuando hablamos de monzón sin más comentario, nos referimos generalmente al monzón húmedo de verano.

En invierno, el aire situado sobre el mar permanece tibio (ya que el mar le restituye las calorías que adquirió en verano);

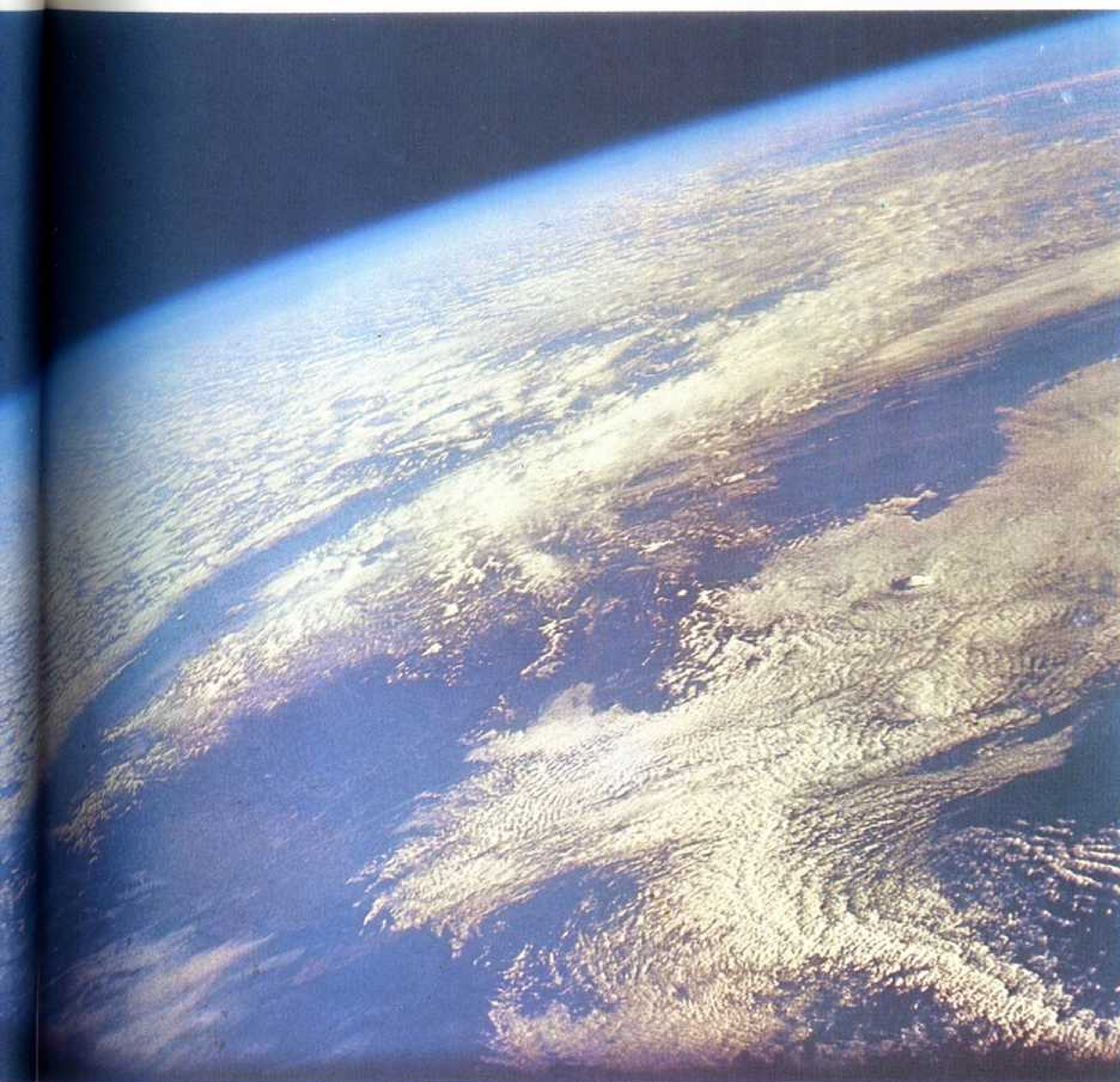








Las corrientes y los climas. *Los movimientos de las aguas superficiales de Extremo Oriente dependen de los monzones. El papel del Kuro-Shivo es capital (arriba, a la izquierda): esta corriente caliente, similar al Gulf Stream, suaviza considerablemente el clima de Corea y de Japón. Los dos mapas de la izquierda indican las tasas de salinidad (en partes por mil) en las aguas superficiales regionales, en agosto y febrero respectivamente. Las fotografías de la página siguiente, tomadas por un satélite, ilustran algunos aspectos de la meteorología del Extremo Oriente. Arriba: una gran capa de nubes sobre las islas del Japón. A la derecha: un torbellino de nubes sobre las islas Kuriles. En el extremo de la derecha: nubes sobre el mar de China antes del monzón.*

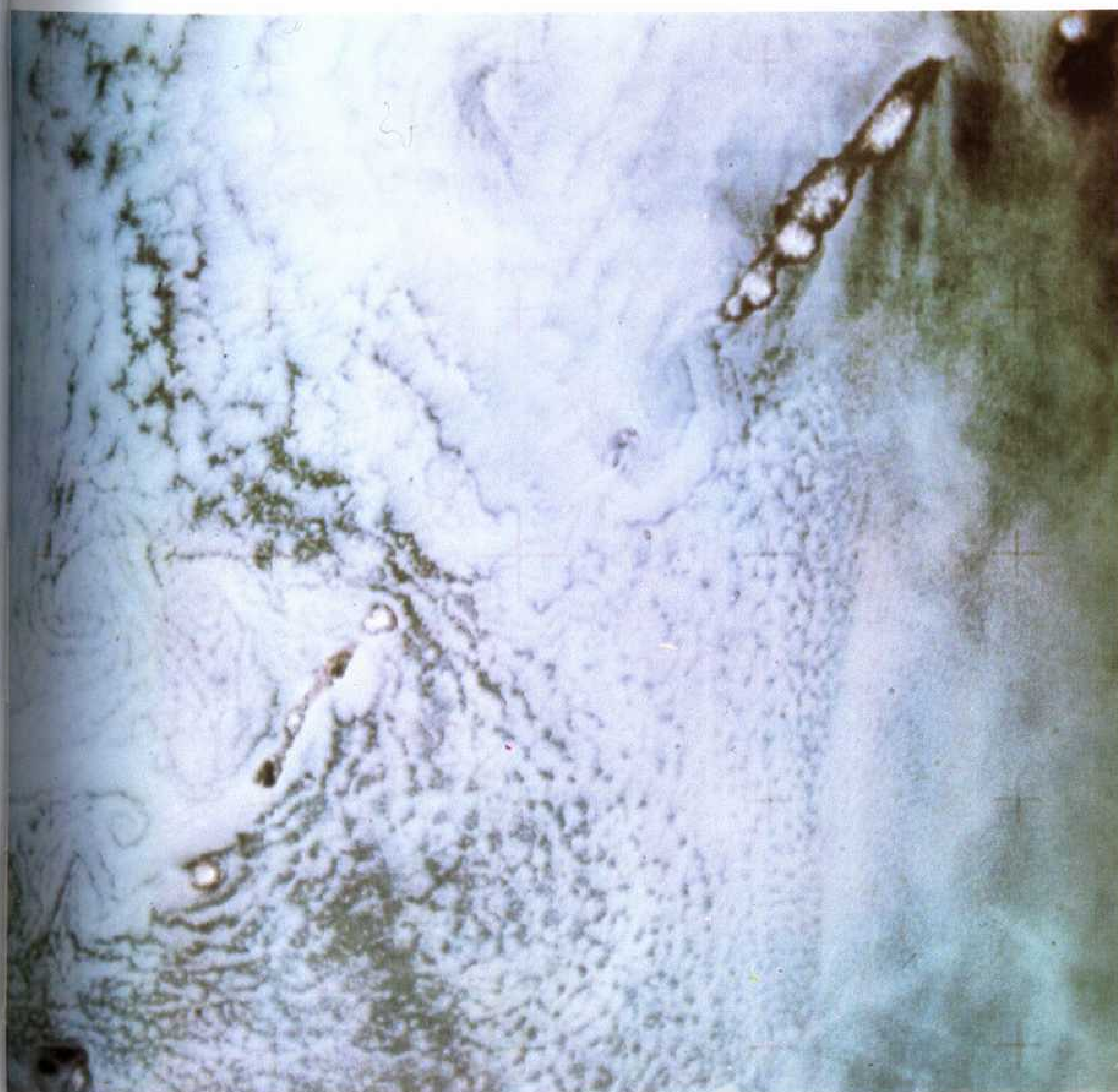


se eleva, y el aire, ya muy frío, que corona el continente se precipita sobre esta región de bajas presiones. El monzón de invierno significa frío y sequía.

Los vientos del monzón tienen una notable influencia sobre las corrientes superficiales del mar de China meridional y del mar Amarillo. En febrero, por ejemplo, el flujo está dirigido hacia el sur, y alcanza una velocidad de más de tres nudos frente a las costas de Vietnam. En verano, el sentido general de las corrientes se invierte; van del sur hacia el norte.

El mar del Japón, y más aún el mar de Ojotsk, sufren mucho menos que el mar de China meridional la influencia del flujo de los monzones. La razón evidente de este hecho es la latitud: estos dos mares están situados en los dominios de los vientos del oeste. El mar de Ojotsk está además influenciado por el caudal del río Amur.

Las grandes corrientes del Pacífico afectan de muy diversas maneras a los mares marginales de Extremo Oriente. El mar de China meridional está bien protegido por Indonesia, las Filipinas y Taiwan, y apenas es afectado por la corriente ecuatorial. Por el contrario, el mar Amarillo se encuentra muy abierto. El Kuro-Shivo deja notar su presencia y choca entre las corrientes provocadas por los grandes





ríos (Huan-ho, Yangtze Kiang). El mar del Japón recibe también una parte del Kuro-Shivo (cuyo recorrido y caudal son comparables a los del Gulf Stream, en el Atlántico).

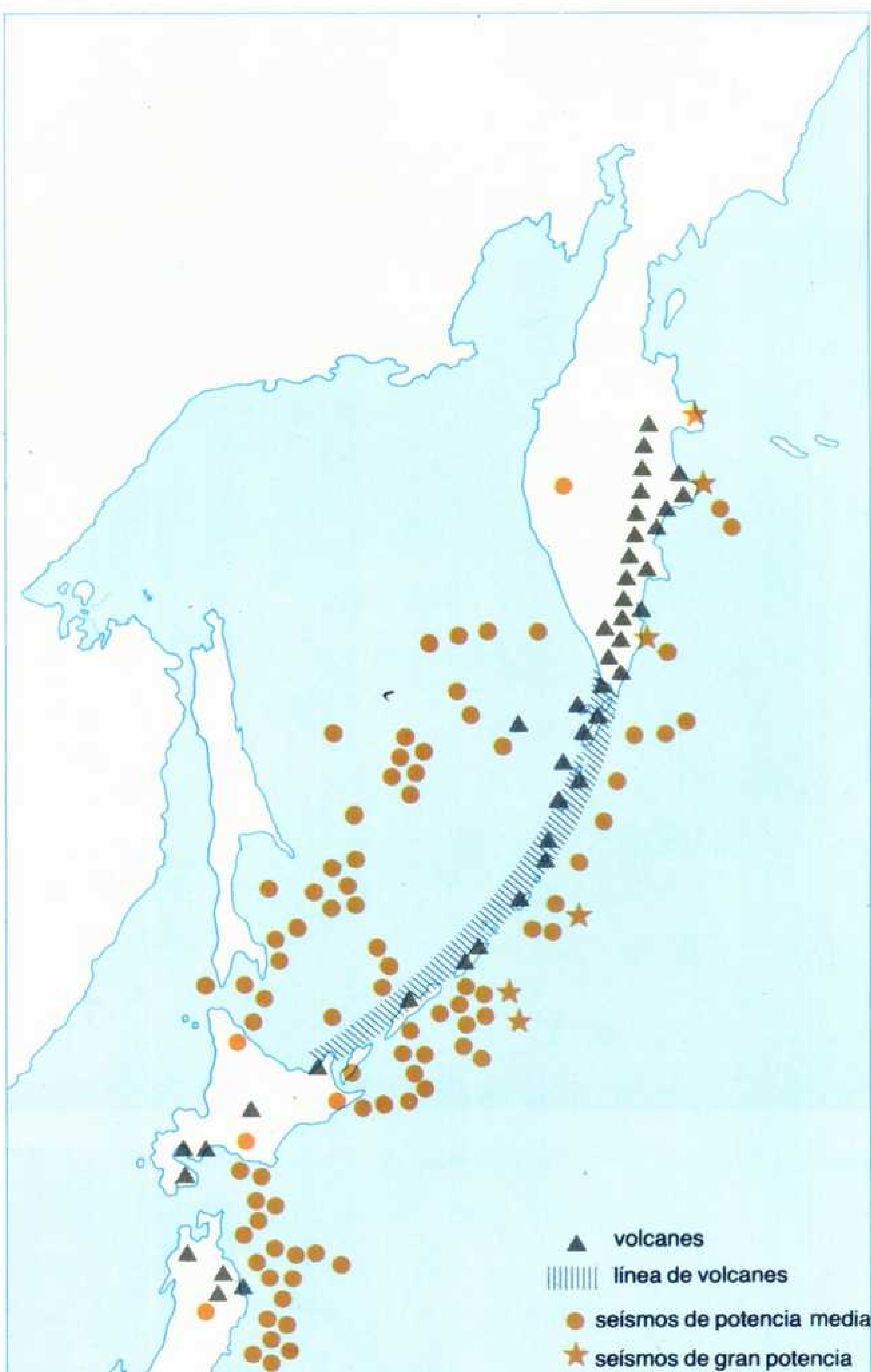
Por su parte, las mareas son complejas, debido a las relaciones entre estos mares incompletamente cerrados y el Pacífico. La onda de marea se arremolina cuando llega a los mares marginales de Extremo Oriente, debido a la fuerza de Coriolis (provocada por la rotación de la Tierra). En algunas zonas, esta onda aumenta la onda local y la amplitud de la marea es importante (por ejemplo, en la región de Shangai). En otras regiones, las ondas tienden a contrarrestarse, y la amplitud es de poca envergadura.

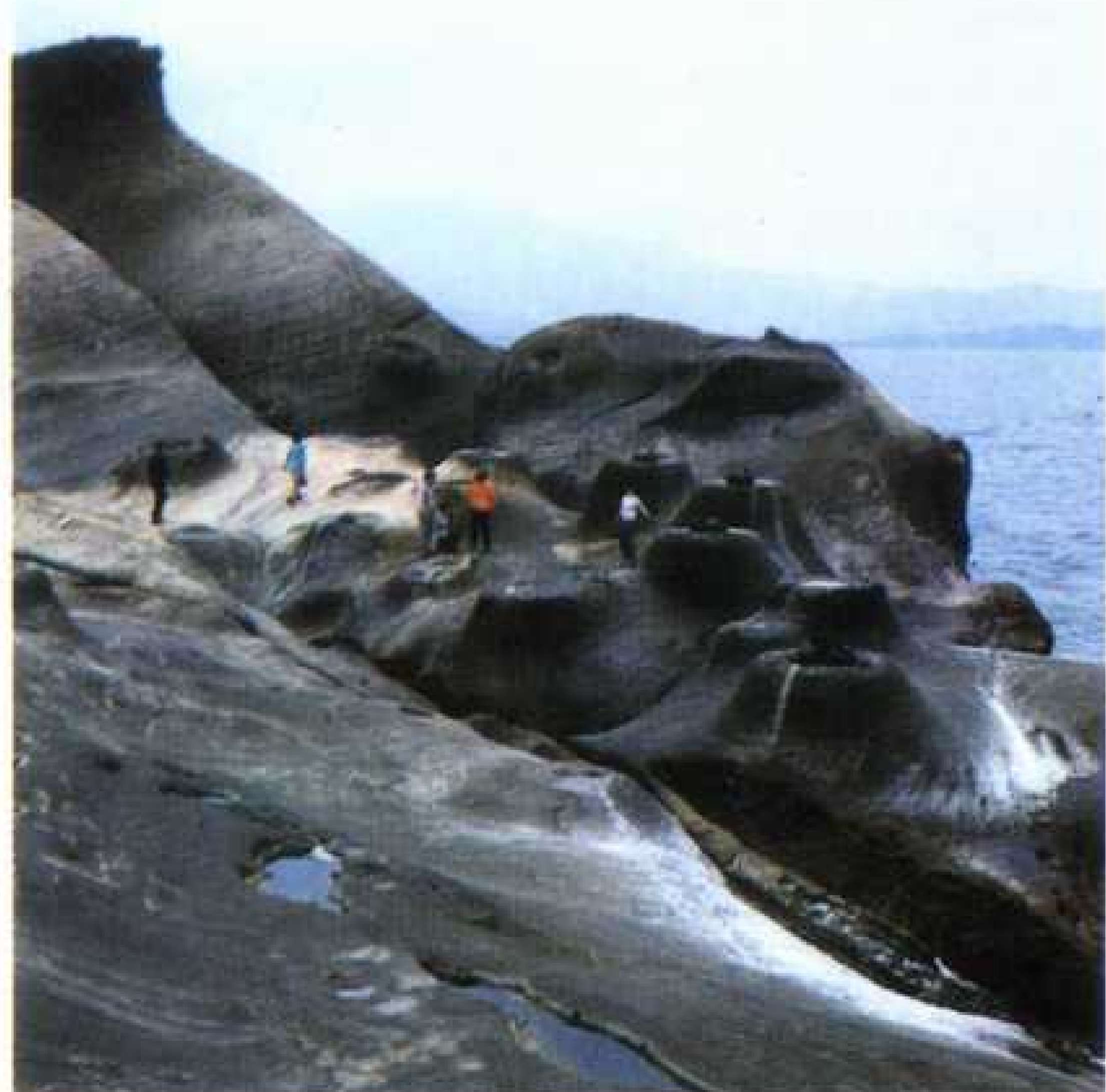
La evolución geológica

Los mares marginales de Extremo Oriente se han formado como consecuencia de una intensa actividad tectónica. La estructura geológica del Pacífico noroccidental es relativamente sencilla de describir. La placa Pacífica, formada esencialmente por un zócalo de basalto antiguo, se hunde bajo la enorme placa asiática.

Este fenómeno ocurre a lo largo de una inmensa fosa (la más grande y profunda del globo), que empieza en las Aleutianas, sigue por Kamchatka, bordea las Kuriles y el Japón y continúa hasta las Marianas.

Los materiales basálticos del fondo oceánico provocan, al desaparecer bajo la placa asiática, un gigantesco rozamiento que calienta la roca lo suficiente como para transformarla en magma volcánico. Así nacen los arcos insulares locales, tan característicos.







Una corona de volcanes. *Los archipiélagos que limitan al este con los mares marginales de Extremo Oriente son de origen volcánico (mapa de arriba). La acción de los agentes atmosféricos sobre los materiales volcánicos provoca curiosos relieves de erosión, como los que ilustran las dos fotografías de la izquierda, tomadas en las pendientes del Yekliu, Taiwan.*



Estos fenómenos están acompañados por continuos terremotos, algunos de los cuales tienen consecuencias catastróficas para las poblaciones locales. Los volcanes engendrados de esta forma tienen una lava espesa, ácida, que forma a menudo tapón; cuando los gases se acumulan bajo la «tapa», acaban por hacerla estallar y la explosión puede equivaler a las de varias decenas de bombas termonucleares. Los mares marginales de Extremo Oriente corresponden al espacio que se extiende entre el final del continente asiático y el arco volcánico determinado por el contragolpe del hundimiento de la placa del Pacífico. Tienen en general una amplia plataforma continental, sobre la cual los ríos que bajan del Tíbet y de las montañas de China acumulan sus sedimentos desde hace milenios. Estas capas de aluviones, arrastrados por millones de toneladas al año, pueden tener un espesor de varios kilómetros; su superficie permanece aparentemente inalterable, pero su masa provoca un hundimiento constante del zócalo que los sustenta. Gracias a las aportaciones minerales y orgánicas de los ríos, el mar de China meridional, el mar Amarillo, el del Japón y el de Ojotsk se cuentan entre los más ricos en peces del mundo. Además, la productividad biológica se ve favorecida por la escasa profundidad de sus aguas. El plancton es abundante y permite la vida del resto de la pirámide alimentaria. Los depósitos enterrados de organismos marinos han permitido la formación, en algunas ocasiones, de bolsas de hidrocarburos.



Arcos de islas volcánicas. *Los arcos insulares del Extremo Oriente, formados por materiales eruptivos, deben su existencia al hecho de que la placa tectónica del Pacífico se hunde bajo su homóloga de Asia. Como consecuencia se produce una intensa actividad plutónica y sísmica. Arriba, la isla de Hokkaido, en el Japón, vista por un satélite que sobrevuela el mar de Ojotsk. A la izquierda, el estrecho de Nemur, que separa la norteña isla japonesa de Hokkaido de las islas Kuriles. Abajo, el flanco de un volcán japonés.*

Los recursos biológicos

ENCONTRAMOS en los mares marginales de Extremo Oriente, desde Borneo hasta la península de Kamchatka, pasando por Taiwan y Japón, una inmensa variedad de especies. Tal como ocurre siempre, el número de especies es mucho mayor en las regiones tropicales que en las zonas frías; sin embargo, en estas últimas, las pocas especies existentes tienen un número récord de individuos. Los arrecifes y los atolones coralinos del mar de China meridional albergan a los animales habituales de estos biotopos: corales, esponjas, briozoos, moluscos, peces damisela, peces payaso, peces mariposa, peces ángel, tiburones, etc. Las aguas templadas cuentan con sus poblaciones de atunes, de clupeidos, de escómbridos. Las aguas frías son muy ricas en bacalao y en peces de este mismo grupo, y alimentan a las focas y a las ballenas.

Los corales sólo crecen en las aguas lo suficientemente cálidas (por lo menos, 18 °C). Pero la temperatura, aunque condición imprescindible, no es el único factor limitante. Hace falta luz, ya que los pólipos constructores viven en simbiosis con algas verdes que necesitan rayos de sol para sintetizar sus azúcares. Los corales desaparecen en aquellos lugares donde llega poca luz. Esto ocurre en especial en las proximidades de los ríos, debido a la «niebla» de los aluviones, y en las zonas agitadas permanentemente por las corrientes. Las aguas turbias son, por el contrario, excelentes medios para el crecimiento de algunas algas y para los animales que se alimentan de ellas.

Los crustáceos (sobre todo las gambas) abundan cerca de la desembocadura de



los grandes ríos, tanto en los de Tailandia o del Vietnam así como en los de China.

Las aves marinas (pelícanos, cormoranes, gaviotas) conocen desde siempre estas mesas cubiertas de suculentos manjares, y el hombre extrae de ellas desde tiempos inmemoriales una parte de su alimentación. La pesca tradicional sigue en actividad en todos los mares de Extremo Oriente. Podemos ver todavía en China y en Japón cómo algunos pescadores hacen trabajar a sus cormoranes, cuyo cuello está rodeado por un anillo que les impide tragar su presa. A los orientales les encanta una gran variedad de mariscos: por ejemplo, las holoturias (pepinos de mar),









Mares que hierven de vida. *La enorme masa de material mineral y orgánico que los ríos del continente asiático aportan a los mares orientales es el origen de su gran productividad biológica. Arriba y a la derecha: recogida de las algas destinadas a la alimentación en las costas de las islas Pescadores, en el estrecho de Formosa. Página precedente: arriba, barcos de pesca en el puerto de Makung, capital de Pescadores; al lado, mercado de pescado de Makung; en el extremo de la izquierda, un pesquero japonés en el mar de Ojotsk.*

algunos gusanos marinos y peces parcialmente venenosos, como el famoso fugu de los japoneses.

Pero aquí, como en cualquier otro lugar, la industria —el saqueo— desola los ecosistemas acuáticos. Los japoneses y los rusos han armado potentes flotas de pesca, dotadas de medios de detección de captura ultramodernos. Agotan las regiones que frecuentan. Son prácticamente los únicos, junto a los coreanos del norte, en cazar todavía los grandes cetáceos (cachalote, rorcual común, rorcual norteño) en el Pacífico septentrional, pese a encontrarse todas estas especies en peligro de extinción.

El caso más dramático, en el contexto de una situación vergonzosa y deplorable, es el de la ballena franca negra del Japón, de la que se desconoce si ha logrado sobrevivir, aunque esté teóricamente protegida desde hace años. Hasta los delfines son capturados: se enganchan en las redes de los barcos atuneros, y los pescadores se dedican a hacer con ellos horribles carnicerías.

Donde desembocan los grandes ríos

Las desembocaduras de los ríos (estuarios o deltas) tienen una considerable importancia ecológica y económica. Bangkok está construida sobre las bocas del Chao. Saigón se levanta cerca del delta del Mekong, Hanoi y Haiphong en el del río Rojo, Cantón y Hong Kong en la desembocadura del Xinjiang, Shanghai en la del Yangtze Kiang, etc. Un complejo conjunto de factores geológicos influye en que las desembocaduras de los ríos estén libres de sedimentos (estuarios) o, por el contrario, obstruidas por ellos (deltas). Entra aquí en juego la cantidad de aluviones transportada, el perfil de la costa (escarpado o en pendiente suave), la anchura de la plataforma continental, la dirección de las corrientes marinas...

Los deltas se presentan como gigantescas acumulaciones sedimentarias, a través de las cuales el río se abre penosamente uno o varios pasos (canales). Son muy escasos los biotopos de este tipo que el hombre no haya domesticado de alguna manera mediante un sistema de diques. Sin embargo, la naturaleza tiene a veces cambios de humor catastróficos: algunas crecidas de los ríos rompen todas las defensas, provocando terribles inundaciones. Asimismo, ocurre con cierta frecuencia que los maremotos o los huracanes llegados del mar transforman el paisaje, rompen los diques, arruinan los cultivos y destruyen las habitaciones humanas.

La productividad biológica de los deltas, calculada en kilogramos de materia orgánica por metro cuadrado, es una de las más altas de la Tierra. La unión del agua dulce y del agua salada hace «milagros». Las zonas pantanosas tienen una abundante vegetación de plantas adaptadas a la sal (halófilas), especialmente salicornias, saladillas, gramíneas y cañas. Los microorganismos y el plancton vegetal se encuentran con un medio ideal para proliferar: aguas ricas en minerales y desperdicios orgánicos. Toda la pirámide alimentaria se aprovecha de ellos. Crustáceos y moluscos se encuentran en gran cantidad. De ellos se alimentan algunos peces y las aves zancudas, mientras que

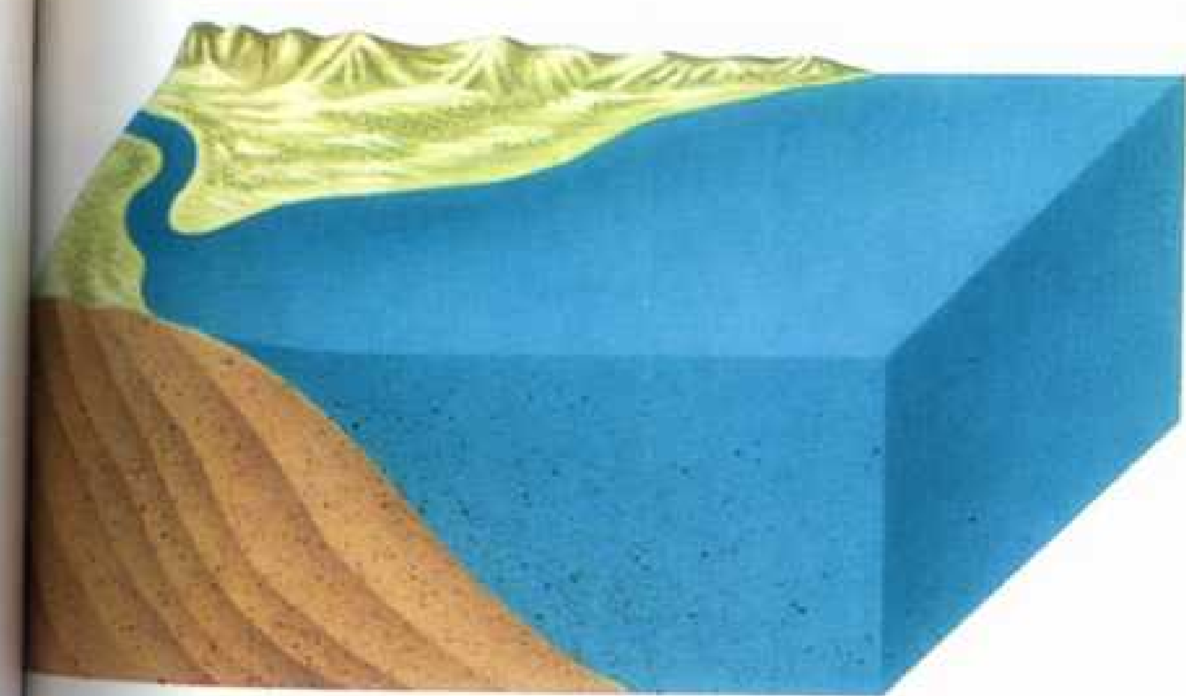


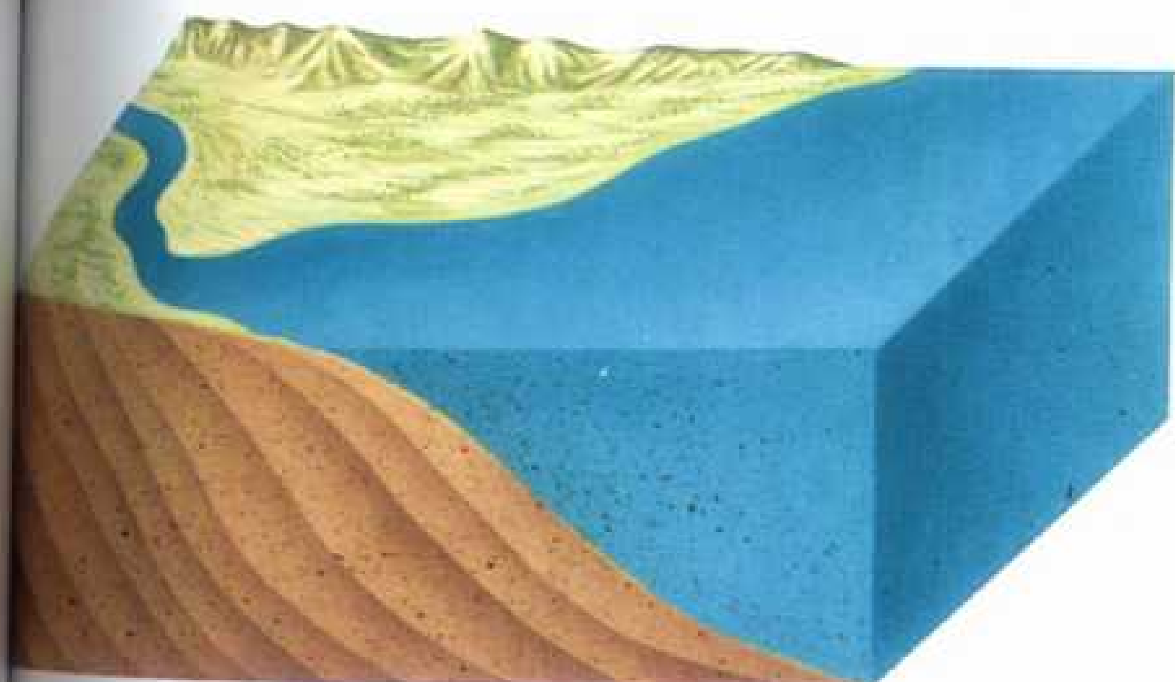


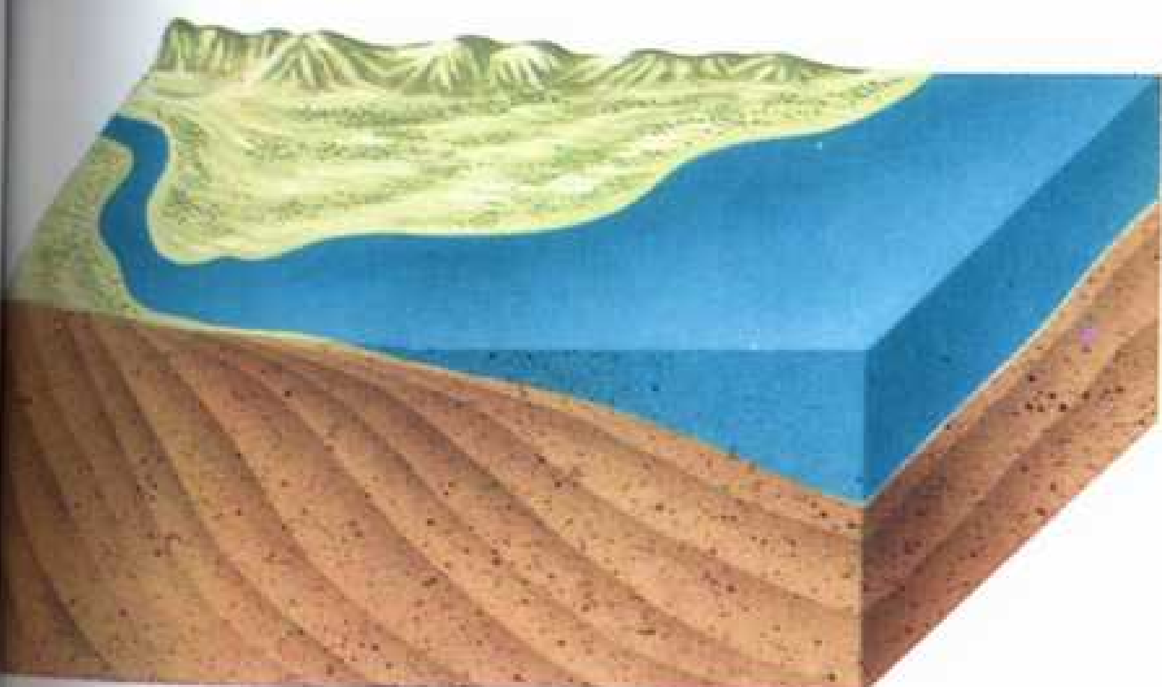
Los grandes ríos. Los mares marginales del Extremo Oriente reciben las aguas de algunos de los mayores ríos del mundo: el Amur, el Amarillo (Huang-ho), el Azul (Yangtze Kiang) (fotografía de arriba), el río de las Perlas (Zhujiang), el río Rojo, el Mekong... Algunos, aunque menos importantes, no son menos potentes y complejos, como el Zengyang (fotografía de la derecha). Las dos formas principales que presenta un río en la desembocadura son el delta y el estuario. El estuario se forma cuando el curso de agua llega a una costa con una fuerte pendiente, que excava, y debajo de la cual tiene bastante espacio para depositar sus sedimentos. Este tipo de desembocadura está esquematizado en los dibujos de la izquierda y en el mapa simplificado de abajo, en el que se unen tres ríos.



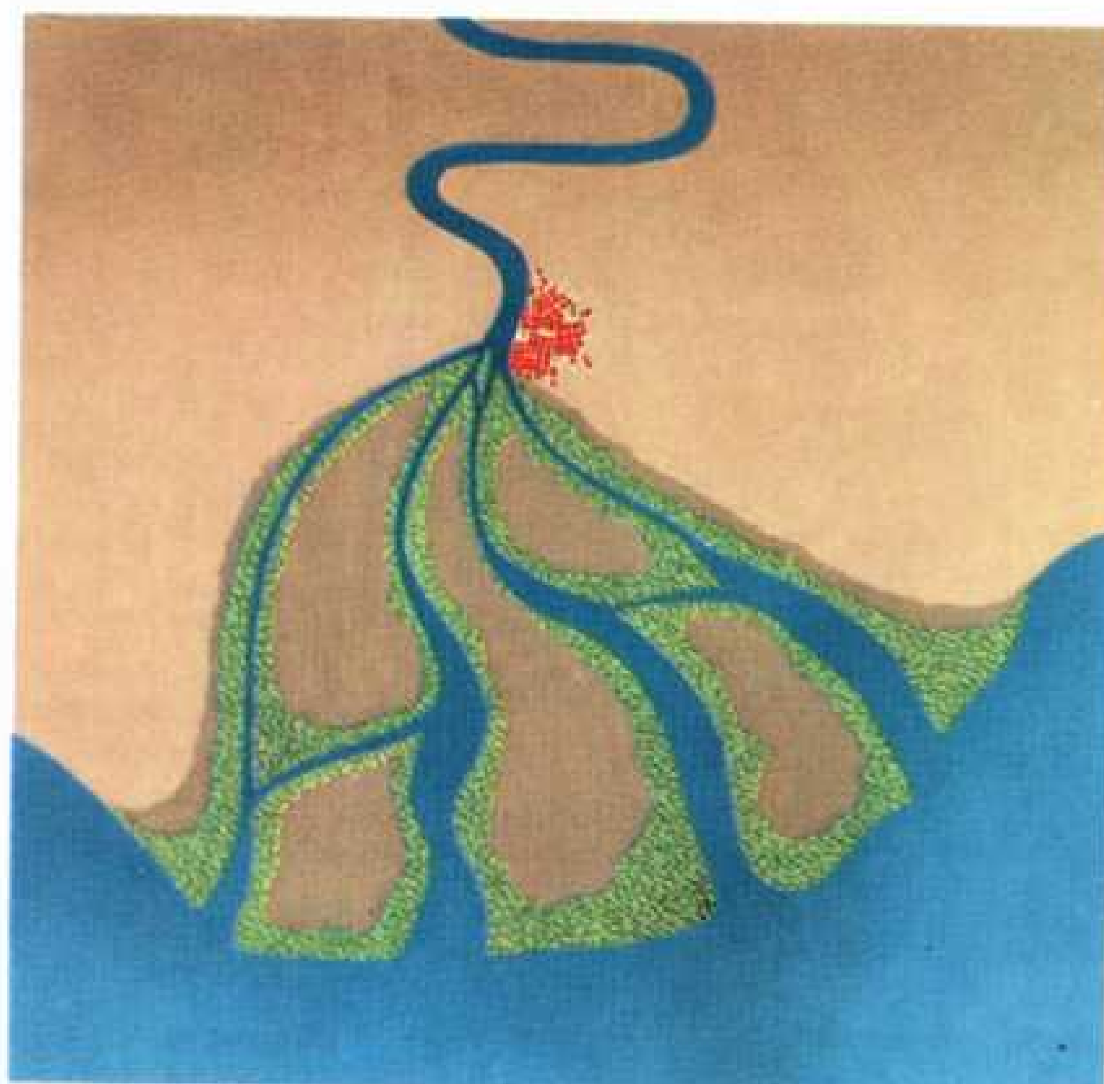








Los deltas. Muy importantes para las plantas, los animales y los hombres, los deltas se han formado lentamente como consecuencia de los sedimentos fluviales sobre costas con poca pendiente, en las que las corrientes marinas son además demasiado débiles como para barrer constantemente los aluviones (esquemas de la izquierda y abajo). Algunos deltas presentan gran complejidad con brazos principales y secundarios. Corresponden a ecosistemas húmedos extremadamente productivos que benefician a las comunidades terrestres y marinas. A veces se asientan en ellos exuberantes manglares.



los carnívoros situados en la cima del sistema (cocodrilos, tigres, panteras, águilas) regulan sus efectivos en función de la abundancia de las presas.

Las zonas costeras de aguas salobres o de marisma constituyen además verdaderas «guarderías» a las que vienen a poner muchos animales marinos, y donde las larvas se pueden desarrollar en buenas condiciones de alimentación, temperatura y seguridad.

Los hombres, al integrar sus actividades a la desembocadura de los ríos (agricultura, ganadería, comercio, industria), han modificado su aspecto primitivo. Han explotado las poblaciones locales de crustáceos, moluscos y peces. Han alterado la dirección de los canales y el aspecto de las orillas. Han acaparado las mejores tierras para sus cultivos y creado pastos para su ganadería. Hasta hace pocos años, el hombre conseguía vivir en una relativa armonía con las poblaciones vegetales y animales. El aumento brutal de la población que ha tenido lugar en los últimos años en esta región del mundo, unido a los perjuicios de la industrialización, el comercio y el turismo, han deteriorado gravemente algunos estuarios y deltas.

Las costas continentales y las costas insulares

LA morfología de las costas del Extremo Oriente refleja la diversidad de los soportes continentales o insulares. Los arcos de islas volcánicas están bordeados al este, es decir, del lado del Pacífico, por costas abruptas, que se hunden prácticamente en los abismos. En el oeste, la pendiente es algo más débil. Sin embargo, el origen plutónico de estas líneas de separación entre la tierra y el agua impide que sean bajas, rectilíneas o arenosas. Como los ríos insulares son cortos, hay pocas cuencas aluviales litorales. Los japoneses, por ejemplo, se lamentan de no tener por patria más que montañas, con una superficie cultivable muy exigua —demasiado pequeña para alimentar a su importante población—. Desde el punto de vista puramente estético, las costas del archipiélago nipón o de otras islas del Extremo Oriente son a veces magníficas: los acantilados, coronados por bosques de pinos, se recortan como un encaje sobre el agua azul. Esta poesía ha sido perfectamente reflejada por los pintores Hokusai, Utamaro y tantos otros.

Las costas continentales son más variadas. La estructura geológica del interior del país determina el tipo de costa. En algunas regiones se pueden observar grandes playas de arena que llegan hasta el bosque tropical; este fenómeno ocurre en la península de Malasia o en el centro de Vietnam. En otras áreas, los ríos extienden sus pantanosos deltas (Mekong, Yangtze Kiang). Más allá, los acantilados caen directamente en el mar.

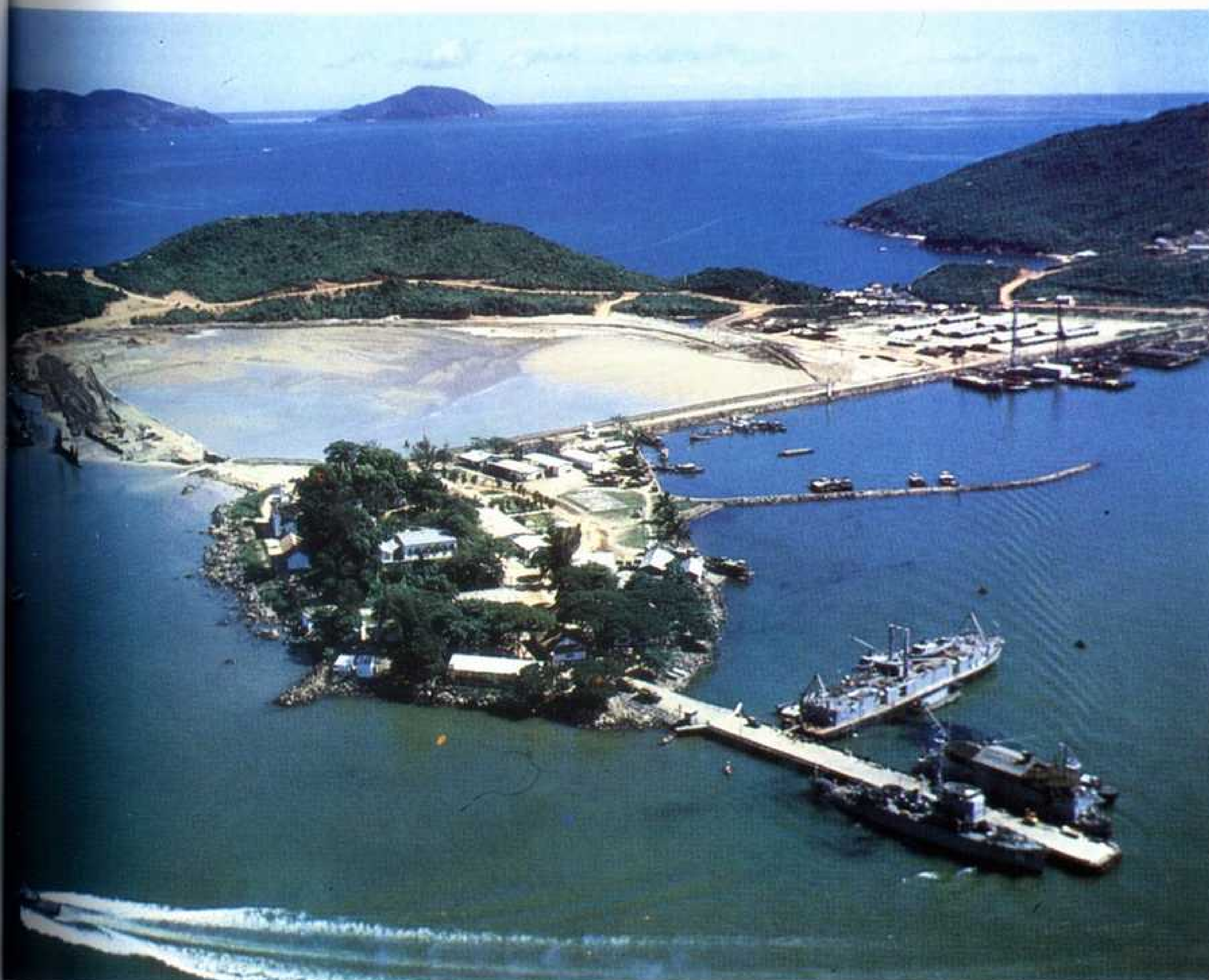




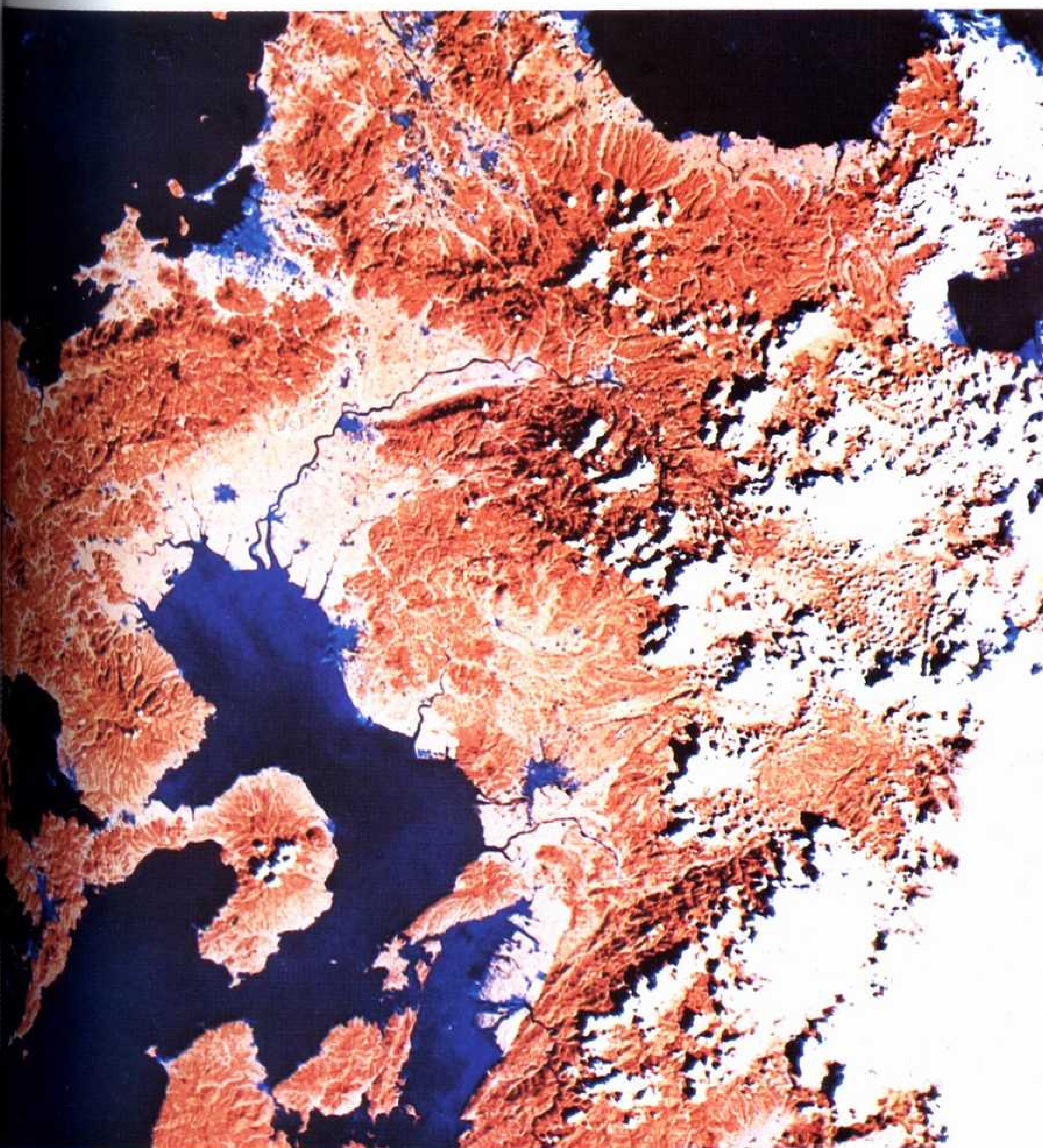


Costas muy diversas. *Las costas de los mares marginales del Extremo Oriente ofrecen un gran número de paisajes diferentes. Son abundantes los litorales provistos de rías. Se forman de la manera que indican los dibujos adjuntos. Cuando una cordillera es perpendicular al mar y el nivel del agua sube, los valles se encuentran parcialmente invadidos. La elevación del nivel del océano puede deberse a que se funden los glaciares (interglaciación) o a un proceso de hundimiento del zócalo continental. Abajo: rías típicas de la región de Cantón. Página de la derecha, arriba: una vista del puerto de Danang, en Vietnam. Página de la derecha, abajo: una parte de la isla de Kyushu, en Japón, con la bahía de Nagasaki; en el extremo de la derecha: una parte de la isla de Hokkaido, con su capital Sapporo y el volcán Yotei-Zan, que culmina a 2.300 metros.*





Uno de los más bellos espectáculos de los mares de China es el que presentan las rías. Están extremadamente recortadas, provistas de numerosas islas y arrecifes, y deben su existencia a las variaciones geológicas del nivel del mar. Cuando los ríos han esculpido las montañas durante milenios y estas montañas se hunden en el mar, por razones de isostasia, éste invade los valles y forma las rías. El mismo resultado se observa durante las regresiones y las transgresiones marinas ligadas a las glaciaciones. Durante los períodos glaciales, el nivel del mar baja (el récord es de –170 metros hace 17.000 años). Cuando vuelve a subir la temperatura, gran parte del hielo se derrite y el mar invade los valles que habían excavado los ríos para alcanzar el océano. Uno de los lugares más maravillosos de este tipo es la bahía de Along, al nordeste del delta del río Rojo (Vietnam). Innumerables brazos de mar rodean allí a las rocas calcáreas cubiertas de verde vegetación. Los juegos de luces del sol, al amanecer y al anochecer, son de una riqueza prodigiosa. Muchos pintores se han inspirado en estos espléndidos motivos.

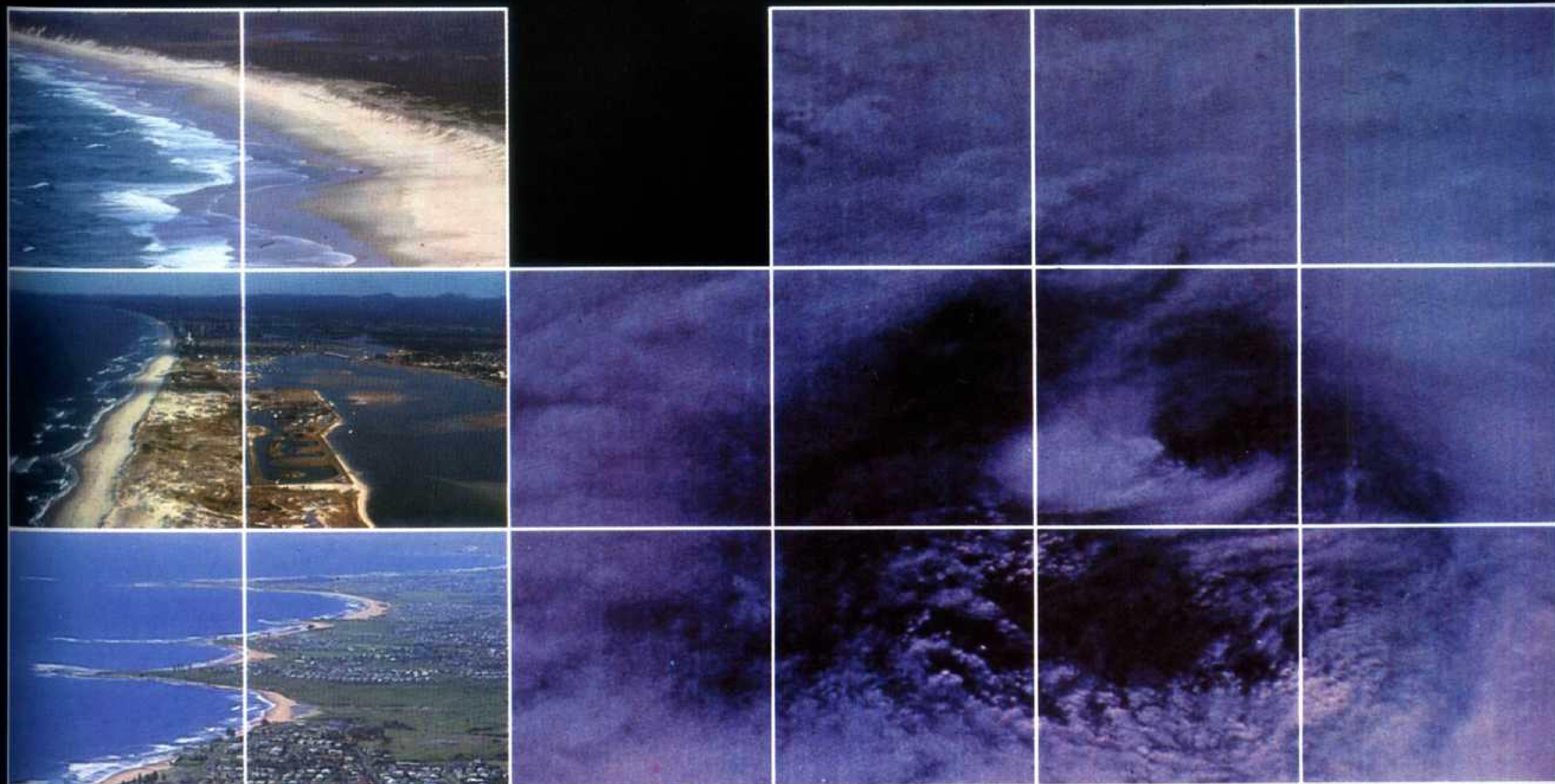




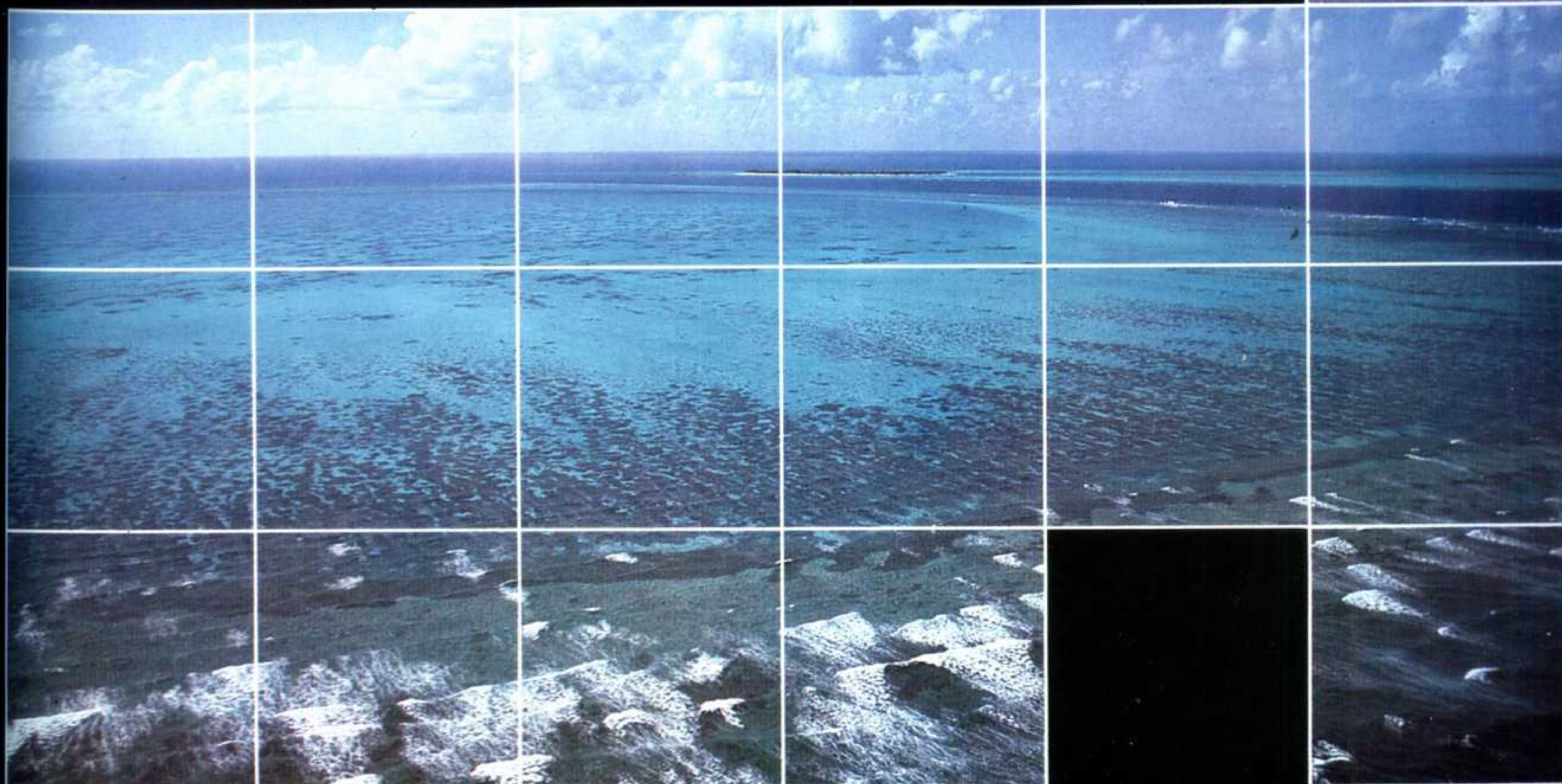




El esplendor del Extremo Oriente. *Los paisajes del mar de China son famosos. Han inspirado a los pintores y a los poetas desde hace más de 2.000 años. A la izquierda: la costa recortada de la isla de Taiwan, en la región de Ching Shang, que da al mar Amarillo y que domina el estrecho de Formosa. Abajo: la majestuosa desembocadura del Yangtze Kiang, o río Azul. Tras regar Chungking, Wuhan, Nanking y Shanghai, y recorrer más de 5.800 kilómetros, desemboca en el mar Amarillo.*



Los mares del Pacífico sudoccidental



El poblamiento de las islas

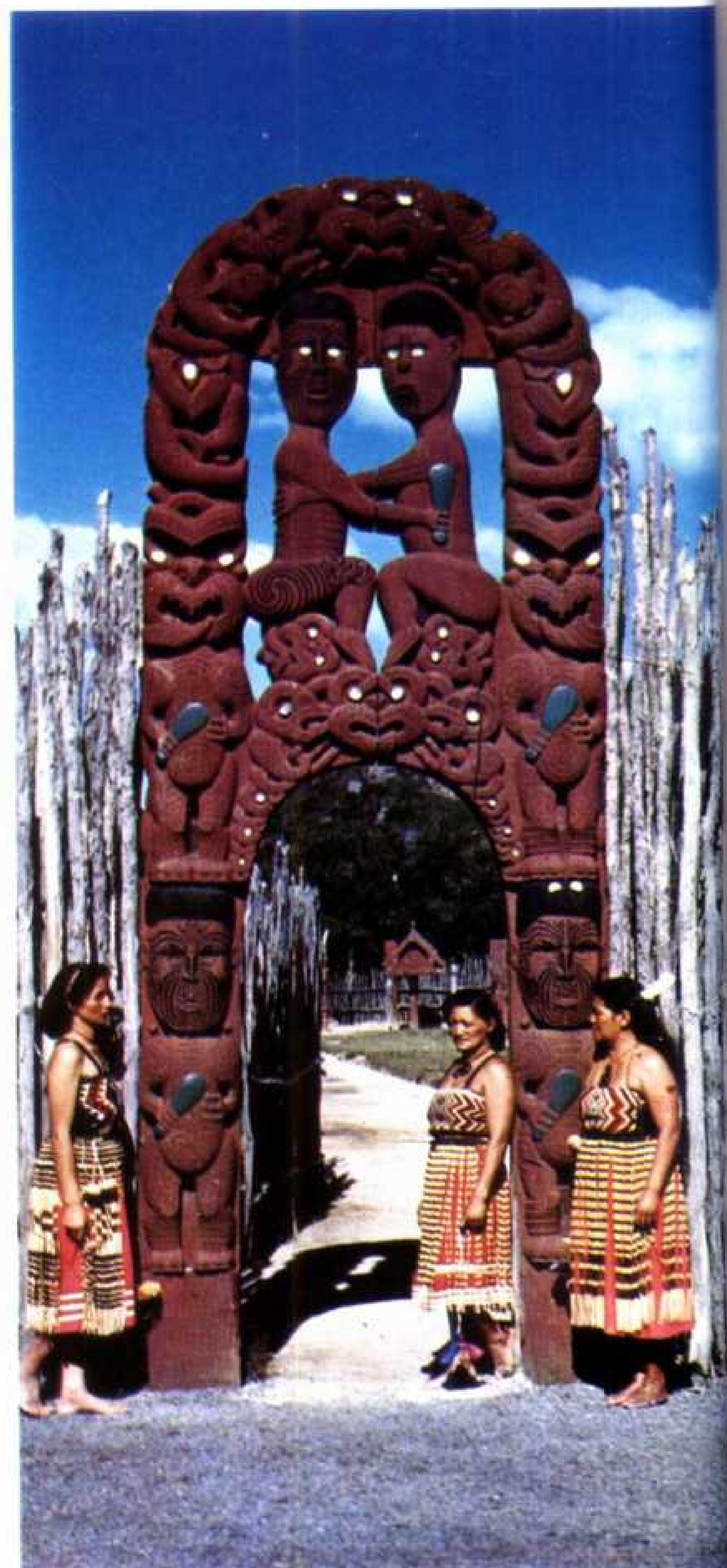
Las mayores islas del Pacífico occidental han sido muy tempranamente habitadas. En el Pleistoceno, el nivel medio del mar alcanzó durante las glaciaciones –170 metros por debajo del nivel actual. En esta época, las Filipinas, parte de Indonesia, Nueva Guinea y Australia formaban una tierra ininterrumpida. La colonización de Australia se remonta probablemente a más de 30.000 años. Cuando los europeos descubrieron el país, los aborígenes de este continente, que han permanecido en la Edad de Piedra, tenían todavía el mismo modo de vida, los mismos alimentos, las mismas costumbres y probablemente la misma cultura y la misma religión que sus antepasados anteriores a la glaciación.

Todavía existen en las Filipinas tribus aborígenes de la Edad de Piedra. Aunque una gran parte de estas islas haya sido colonizada por poblaciones mongoloides llegadas de Asia, y posteriormente por los europeos, quedan pueblos aislados en el interior de las montañas. El último en ser descubierto fue el de los tasaday, en 1974. Estos recolectores no conocen la agricultura y no habían visto nunca a un hombre blanco.

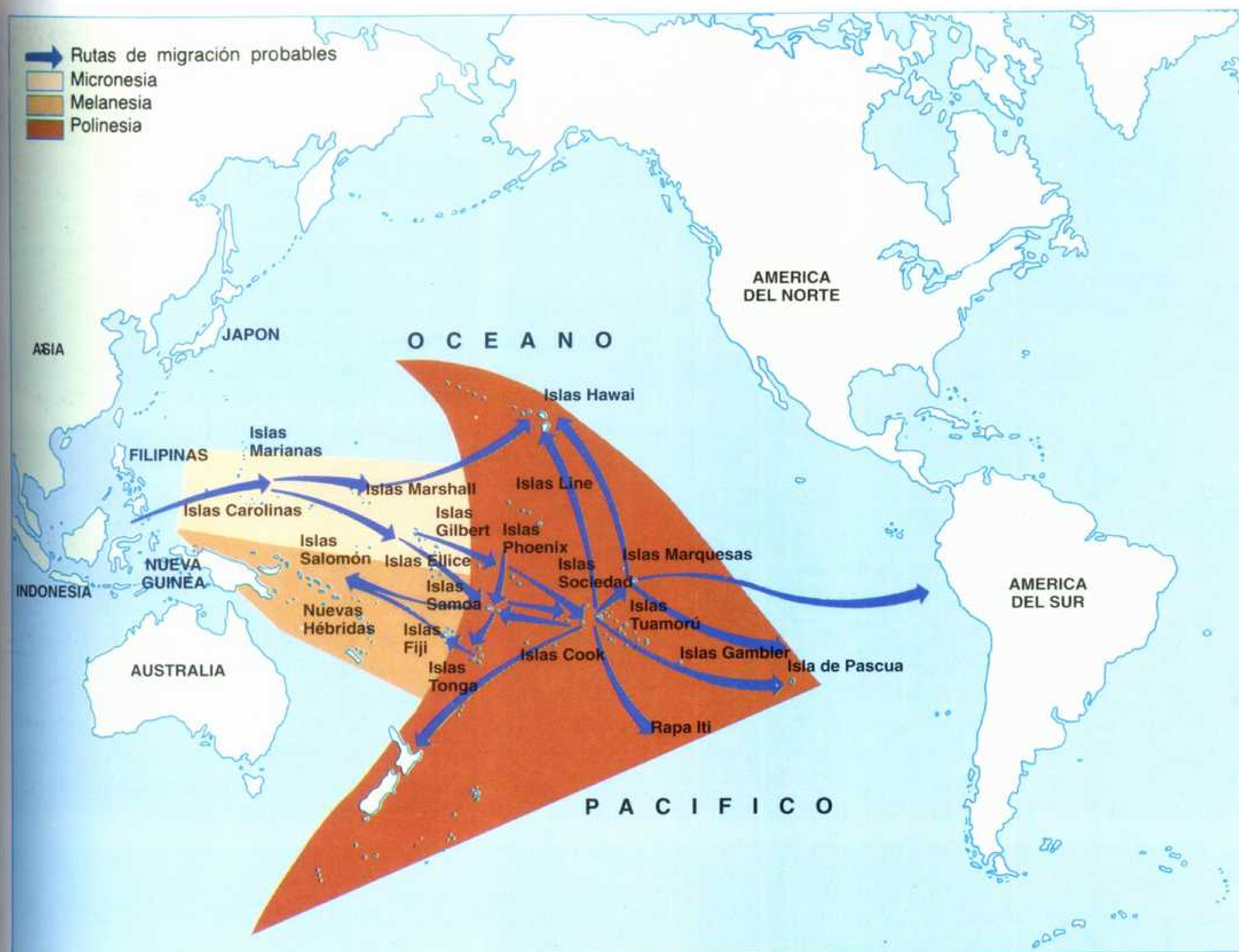
Los habitantes de Nueva Guinea, de las Salomón, de las Fiji y de las islas próximas constituyen el grupo de los melanesios. Su negra piel no debe hacernos creer que tienen un origen común con los africanos. Se acercan más a los australoides del sur. Antes de la llegada de los europeos tenían una civilización que podemos calificar de neolítica. En efecto, disponían de una agricultura rudimentaria basada en la batata.

Los polinesios pueblan los archipiélagos de Tonga, Samoa y Nueva Zelanda, y han colonizado poco a poco, por oleadas sucesivas, la mayor parte de las islas del Pacífico central y oriental. Sus afinidades morfológicas, lingüísticas y culturales con los grupos étnicos del Sudeste Asiático son evidentes. Sobre sus piraguas de balancines se diseminaron por la inmensidad del océano, dejando pocos restos arqueológicos, pero perpetuándose su cultura, su lengua y sus tradiciones mediante grandes relatos, algunos de los cuales se conocen actualmente. Llegaron a Nueva Zelanda en el siglo XIV. Allí se establecieron con el nombre de maoríes. Otros, tal vez procedentes del archipiélago de la Sociedad, habían desembarcado en la isla de Pascua en el siglo XIII. Sus descendientes construyeron gigantescas estatuas monolíticas.

El esplendor y la decadencia de la civilización de la isla de Pascua fueron ejemplares en muchos aspectos. Los indígenas, mientras perfeccionaban la técnica de fabricación de las estatuas de piedra, sobreexplotaban la tierra y cortaban todos los árboles. El ecosistema se empobreció y no fue capaz de alimentar a la población humana por más tiempo. El resultado, un período de anarquía y guerra civil que puso fin a la Edad de Oro.







Desde las Filipinas a la isla de Pascua: *Los pueblos del Sudeste Asiático han colonizado lentamente las islas del Pacífico (mapa de migraciones adjunto). Se reparten en varios grupos que se diferencian por la morfología, los rasgos, la lengua, las costumbres y las culturas. El gran instrumento de su expansión fue la modesta piragua de balancín (abajo). La vida de estos hombres está estrechamente ligada al mar, como demuestran las fotografías de esta doble página. Abajo, a la izquierda: bailarines de la tribu asaro, en Nueva Guinea, con sus máscaras de barro pintado. Página anterior, arriba: La entrada de un pueblo maorí en Nueva Zelanda. Abajo: un pueblo de palafitos en Nueva Guinea.*







El descubrimiento de los mares del Sur

MAGALLANES abrió el océano Pacífico a la colonización europea. El gran navegante portugués, al servicio del soberano de España, partió de aquí en 1519, y rodeó América del Sur por el estrecho que lleva actualmente su nombre. Hizo escala en Guam, y llegó posteriormente a las Filipinas el 16 de marzo del año 1521.

Vio oro en las joyas y en las decoraciones de los indígenas y firmó un tratado con un jefe local, pero pereció en una escaramuza. Su teniente Elcano terminó esta primera vuelta al mundo en 1522. En 1578, el británico Francis Drake siguió una ruta semejante pasando por el cabo de Hornos. Llegó a las Molucas en 1579. Durante este viaje, el legendario *Golden Hind* del navegante pirata encalló en una barrera de coral, pero Drake consiguió salvarlo y volvió a Inglaterra después de pasar por el cabo de Buena Esperanza.

La historia de los descubrimientos en el Pacífico se resume a partir de entonces en la búsqueda de las tierras del sur, o, más exactamente, del Gran Continente Austral —la *Terra Australis*—. Era lo que ya buscaba el español Alvaro de Mendaña cuando descubrió y bautizó las islas Salomón (tenía la esperanza de haber encontrado las legendarias minas del rey Salomón).

Su piloto Quirós abordó en 1606 las Nuevas Hébridas. Llamó a la isla mayor de este archipiélago Australia del Espíritu Santo, y allí proyectó la construcción de una nueva Jerusalén. Al segundo de Quirós, Torres, una tormenta le alejó de la flota principal. Fue el primero en navegar por el temible mar de Coral, en atravesar la Gran Barrera y en deslizarse entre Nueva Guinea y Australia por el estrecho que lleva su nombre.

Hasta el principio del siglo XVII, los navegantes llegaban al Pacífico por el Oeste, es decir, por el estrecho de Magallanes o el cabo de Hornos. A partir de esta época, los holandeses lo exploraron por el Este para controlar mejor sus ricas posesiones del archipiélago de la Sonda. En 1642, el neerlandés Abel Tasman realizó un asombrosó viaje durante el cual descubrió Tasmania y exploró una parte de la costa australiana. Sin embargo, los tres grandes navegantes que acabaron, o casi, el descubrimiento del Pacífico fueron el francés Louis Antoine de Bougainville (en el *Boudeuse*, de 1766 a 1769), el inglés James Cook (tres viajes entre 1768 y 1779) y el francés La Pérouse (en 1785, con las fragatas *Boussole* y *Astrolabe*).

Bougainville desembarca en Tahití, acaba su vuelta al mundo y escribe su célebre *Viaje alrededor del mundo*, al cual añade Diderot un *Suplemento* filosófico. Cook llega igualmente a Tahití, explora Nueva Zelanda, desembarca en la isla de Pascua, desciende hacia el Sur por debajo del paralelo 71 y muere en Hawai asesinado por los indígenas. Por su parte, La Pérouse pasa igualmente por la isla de Pascua, por Hawai, etc. Explora el estrecho que lleva su nombre (entre Japón y Sajalín) y muere a manos de los indígenas de la isla de Vanikoro.



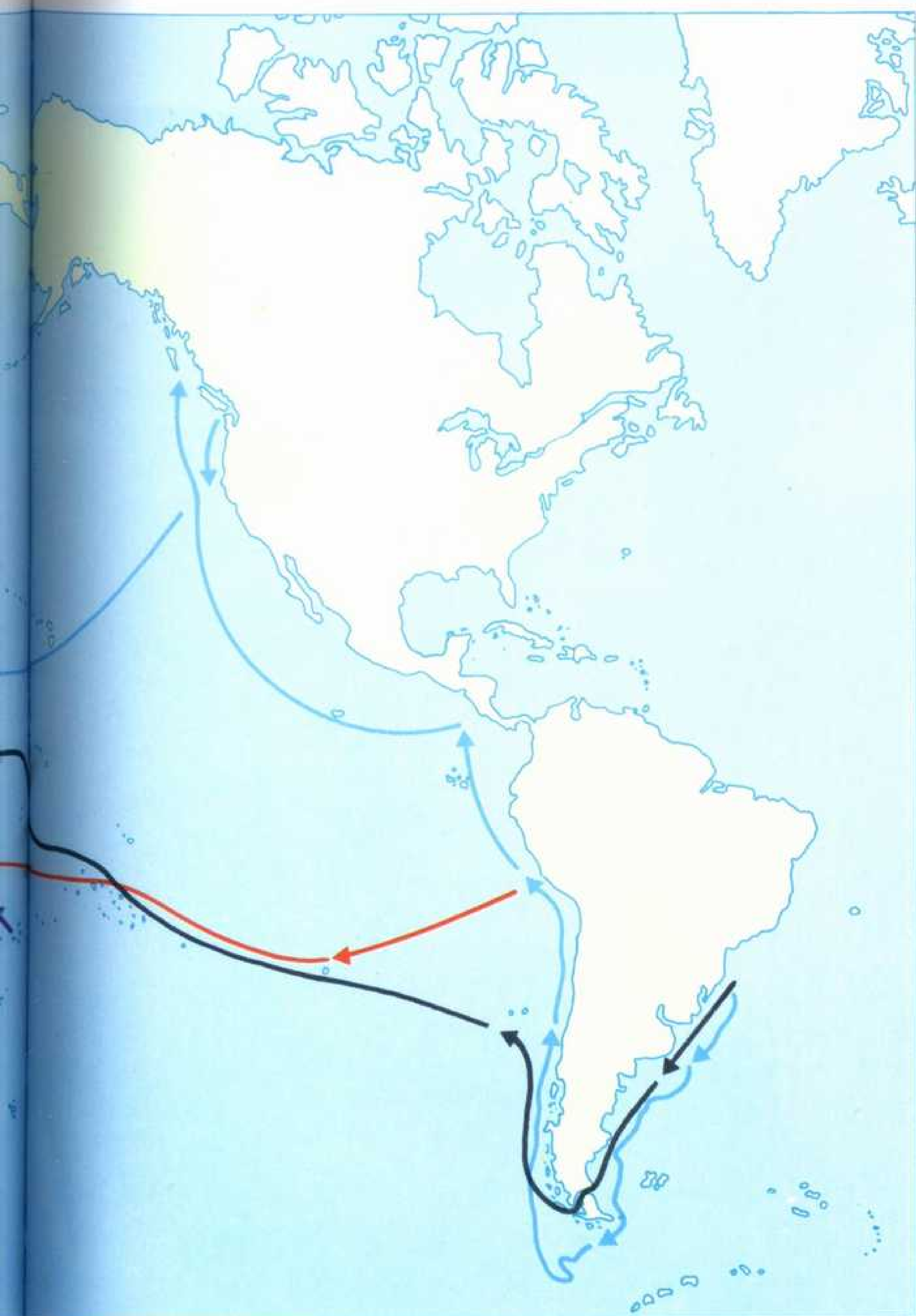


Una difícil exploración. *Fernando de Magallanes fue el primer europeo en navegar sobre las aguas del Pacífico, en el transcurso de su famoso viaje alrededor del mundo, que no pudo acabar él mismo, ya que murió en una escaramuza con los indígenas en las Filipinas (dibujo de arriba). La exploración de los mares del Sur, aunque permitió encontrar islas encantadoras y pueblos dulces y acogedores, fue también trágica a veces: además de Magallanes, dos de los mayores descubridores de la historia perdieron allí su vida: Cook, en Hawai, y La Pérouse, en Vanikoro. Página siguiente, arriba, a la izquierda: dos ilustraciones de una edición italiana de los viajes del capitan Cook. Arriba, a la derecha: los restos de un fortín español en las Filipinas. Abajo, a la derecha: las islas el Pacífico fueron objeto de importantes combates durante la Segunda Guerra Mundial. Aquí: vestigios de una batalla entre japoneses y americanos en la isla de Nueva Bretaña, perteneciente al archipiélago de las Bismarck, situado al este de Nueva Guinea.*


LA
NUOVA
ZELANDA
DELINEATA SULLE OSSERVAZIONI
DEL
CAPITAN COOK
ROMA


LE
ISOLE
DI
SANDWICH
Delineate
Sulle Osservazioni
Del Cap. Cook



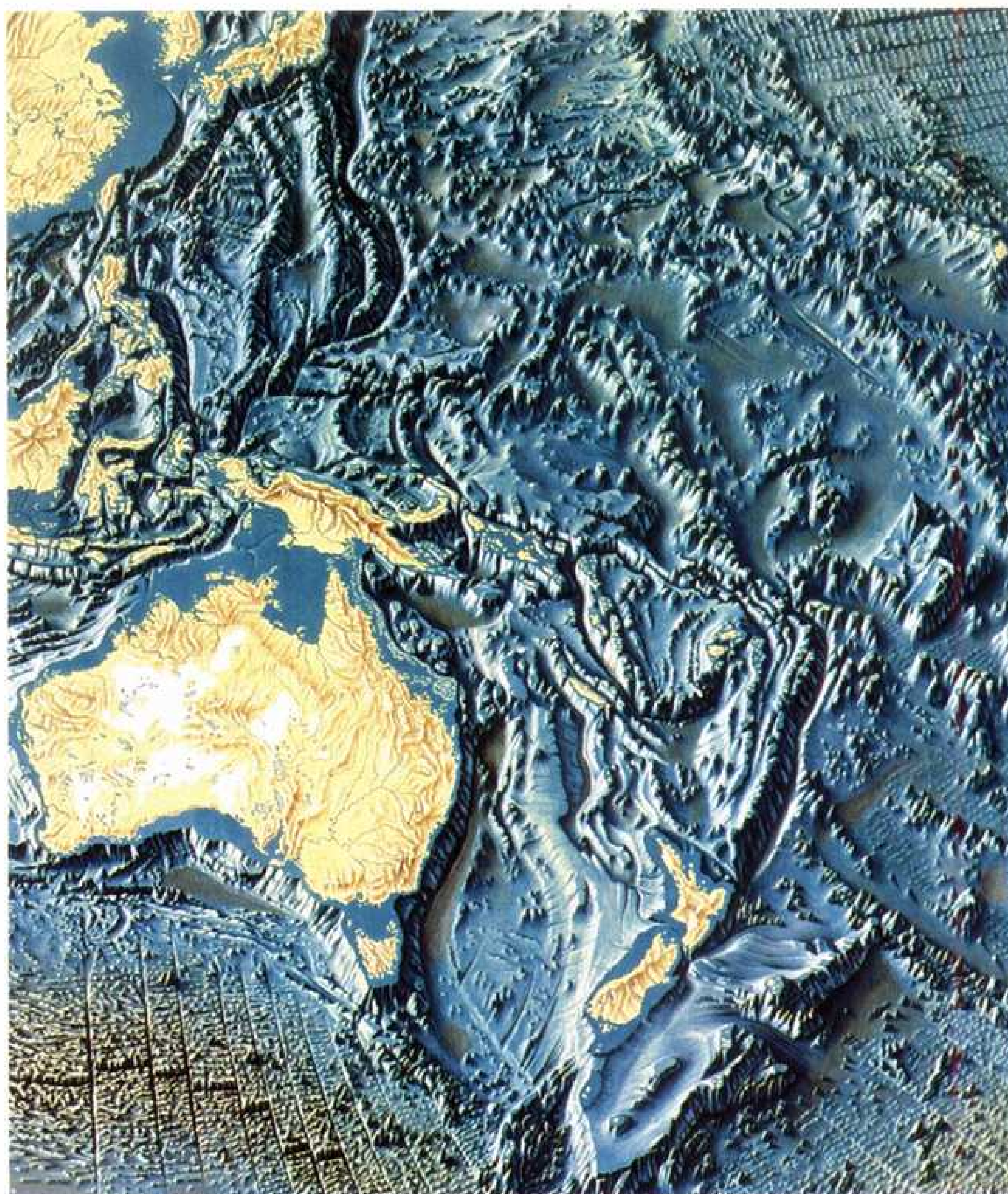




La geografía y el clima

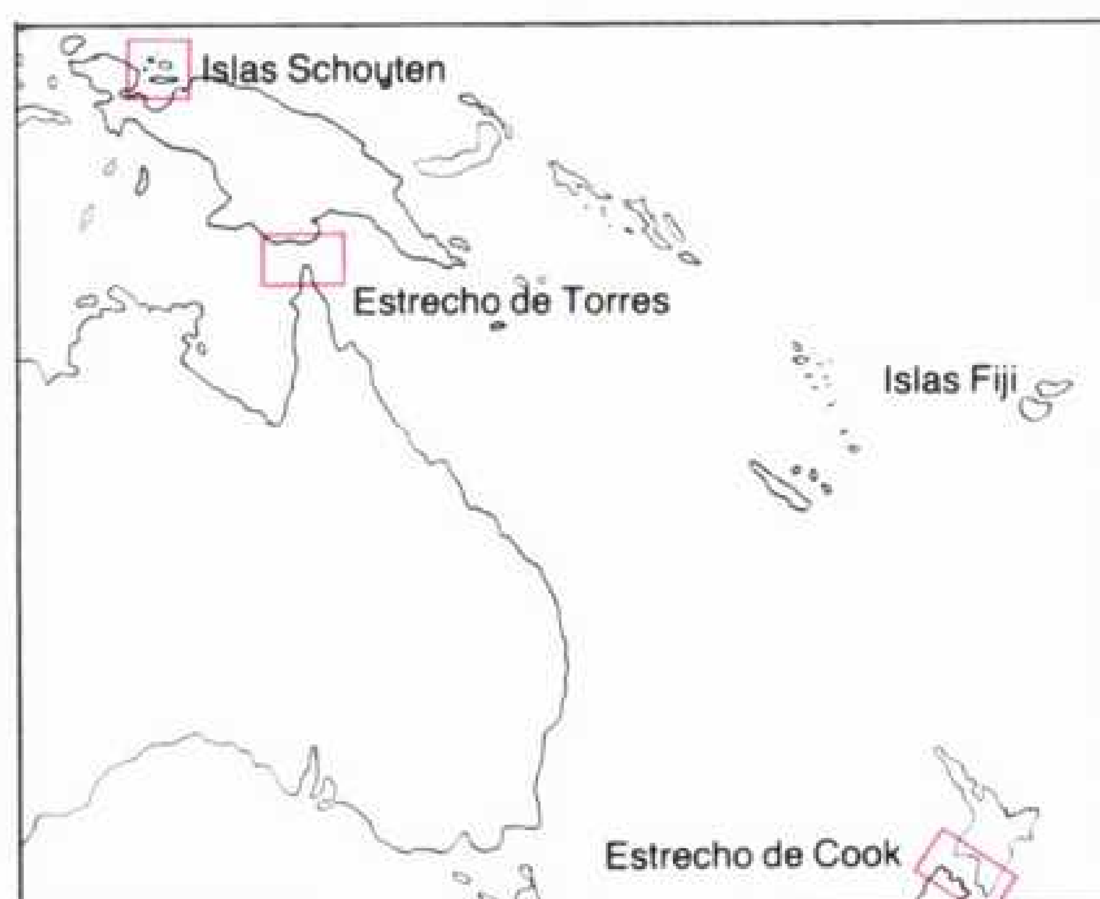
Los mares que constituyen el Pacífico sudoccidental se extienden entre las Filipinas, el océano Pacífico en sentido estricto, la Convergencia Antártica y Australia. El límite que los separa del Pacífico en sentido estricto está constituido por una serie de dorsales que los geólogos llaman «zona andesítica»; se trata, en efecto, del trazado exterior de los arcos insulares volcánicos surgidos de la subducción de la placa tectónica Pacífica bajo las placas de Asia y de Australia. Los principales mares locales son: el de las Filipinas, el de las Bismarck, el de las Carolinas, el del Coral, el de las Fiji, el de las Salomón y el de Tasmania. En estas límpidas extensiones, maravillosamente favorecidas por el clima, las tierras apenas representan sino puntos en las cartas náuticas. La mayor cuenca es la del mar del Coral, con sus 4.790.000 kilómetros cuadrados y una profundidad media de 2.390 metros.

Los límites de los mares del Pacífico sudoccidental están formados, de un lado, por extensas tierras (Australia, Nueva Guinea, Filipinas) y, del otro, por islas muy pequeñas (Nueva Zelanda es la mayor; viene luego, de Sur a Norte, las Kermadec, las Tonga, las Fiji, las Salo-



Las exploraciones por satélite. *Un solo aparato fotográfico embarcado a bordo de un satélite proporciona tantos datos geográficos como una expedición de varios años en la época de los grandes descubrimientos. En la fotografía inferior se ve el estrecho de Cook, que el gran navegante fue el primero en atravesar y que separa a las dos grandes islas de Nueva Zelanda. En la fotografía de la página siguiente, arriba, se distingue el estrecho de Torres entre Australia y Nueva Guinea. Abajo, las islas Schouten (así llamadas en honor de un navegante holandés), al norte de Nueva Guinea.*





món y las Bismarck). Estas cuencas marítimas se extienden desde el norte del ecuador hasta los 45 grados de latitud Sur. Abarcan todo tipo de climas y paisajes, desde los atolones con cocoteros hasta los picos nevados de la isla meridional de Nueva Zelanda.

Por lo que se refiere a las características hidrológicas (temperaturas, salinidad, corrientes) y climáticas, estos mares apenas se distinguen de las regiones correspondientes del Pacífico. En efecto, el gran océano los penetra fácilmente, y alinea todas sus variables sobre las suyas propias. No ocurre lo mismo en lo que se refiere a los fondos, a la naturaleza del zócalo rocoso. Mientras que el suelo del Pacífico en sentido estricto está compuesto de un basalto regular, «escupido» en capas sucesivas por la dorsal del Pacífico oriental, los fondos de las cuencas del Pacífico sudoccidental han sido «reelaborados» por las gigantescas fuerzas tectónicas que se desencadenan en la subducción de la placa Pacífica bajo las de Asia y Australia. Los volcanes andesíticos que forman la frontera oriental de estos mares gravitan, del lado del gran océano en sentido estricto, sobre fosas impresionantes: la fosa de las Filipinas, como ya hemos señalado en alguna ocasión, supera los 10.000 metros de profundidad, al igual que la de las Tonga y la de las Kermadec. Este sistema de abismos se encuentra, por lo demás, unido al gigantesco alineamiento de las fosas del Pacífico Norte, es decir, a las fosas de las Marianas, del Japón y de las Kuriles.

Las corrientes oceánicas

Los mares marginales del Pacífico sudoccidental son profundos y raramente están salpicados de tierras emergidas, razón por la cual las corrientes del gran océano penetran con facilidad. Las mareas, en contrapartida, apenas tienen una débil amplitud. El único lugar donde son algo fuertes es en la costa oriental de Nueva Guinea.

Las corrientes del Pacífico dependen del sistema planetario de los vientos. En cada hemisferio, el calentamiento del aire debido a la irradiación solar tiene como resultado la formación de tres zonas: la de los vientos polares de Oriente, la de los vientos extratropicales de Occidente y la de los alisios. Tanto en el Pacífico como en el Atlántico, este esquema determina la existencia de dos grandes torbellinos de agua en lenta rotación; uno en el hemisferio norte, otro en el hemisferio austral. En el Pacífico, la corriente ecuatorial norte choca contras las Filipinas, sube hacia el Japón y se dirige al este: es el Kuro-Shivo templado, el homólogo de la corriente atlántica del Golfo. La corriente ecuatorial sur hace lo mismo, simétricamente: va hacia el oeste, baña las Nuevas Hébridas y Nueva Caledonia, choca contra la Gran Barrera de Coral y dobla hacia el este; se le llama entonces corriente de Australia.

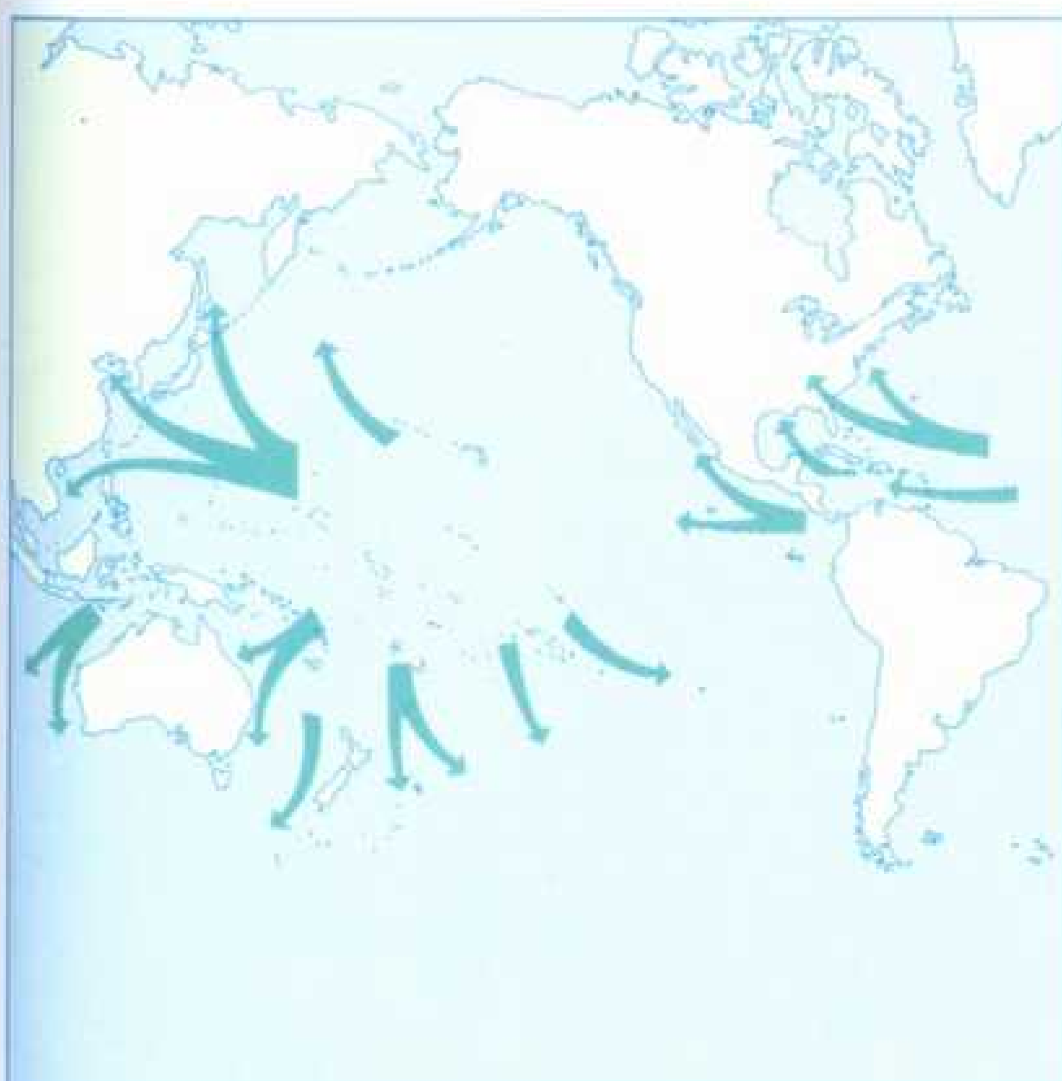
Los navegantes europeos aprendieron prontamente a conocer los vientos dominantes y las corrientes en los mares del Sur. Mucho antes que ellos, los polinesios sabían utilizarlos ya en sus migracio-



Las corrientes y los tifones. *El mapa adjunto da una idea de la circulación de las aguas superficiales en el Pacífico occidental. La corriente norecuatorial sube hacia el Japón, donde toma el nombre de Kuro-Shivo. La corriente sudecuatorial sigue una trayectoria simétrica. Abajo, a la derecha: la costa de Queensland, al nordeste de Australia. A la izquierda: lenguas de arena en las cercanías del cabo Byron, en Australia, por cuya latitud pasan los límites entre el mar de Coral y el mar de Tasmania. Las regiones tropicales del Pacífico son propicias al «arranque» de devastadores huracanes, que siguen itinerarios bastante regulares (mapa de la página siguiente, abajo). En esa misma página, arriba: el huracán* Gloria, *con su «ojo» característico, fotografiado por satélite a unos 750 kilómetros aproximadamente al sur del Japón.*







nes de isla en isla. Algunos de estos osados marinos, naturalmente, se perdieron en la inmensidad del Pacífico; pero los relatos orales prueban que otros tuvieron éxito y que habían adquirido sorprendentes conocimientos sobre los itinerarios oceánicos, especialmente sobre el trazado de las corrientes.

Una leyenda famosa en Polinesia cuenta la historia de un marino ciego que acompañaba al rey Tonga en sus peregrinaciones. Cuando los hombres de la expedición se creían perdidos, se dirigían al invidente; éste metía la mano en el mar y establecía la posición de la piragua sin equivocarse nunca... La historia, evidentemente, es fantástica; pero revela algo del excelente conocimiento que los polinesios tenían del mar, capaces como eran de navegar sin error millas y millas en sus cáscaras de nuez.

El modo, sin embargo, en que fueron colonizadas las islas del Pacífico sigue siendo parcialmente inexplicable. A este respecto, los especialistas sostienen una animada controversia. Según unos, una parte por lo menos de las tierras insulares habrían sido avistadas por primera vez por navegantes procedentes de América del Sur. La mayoría de los científicos sostienen la tesis de colonización por oleadas desde Asia sudoccidental.

Placas en movimiento

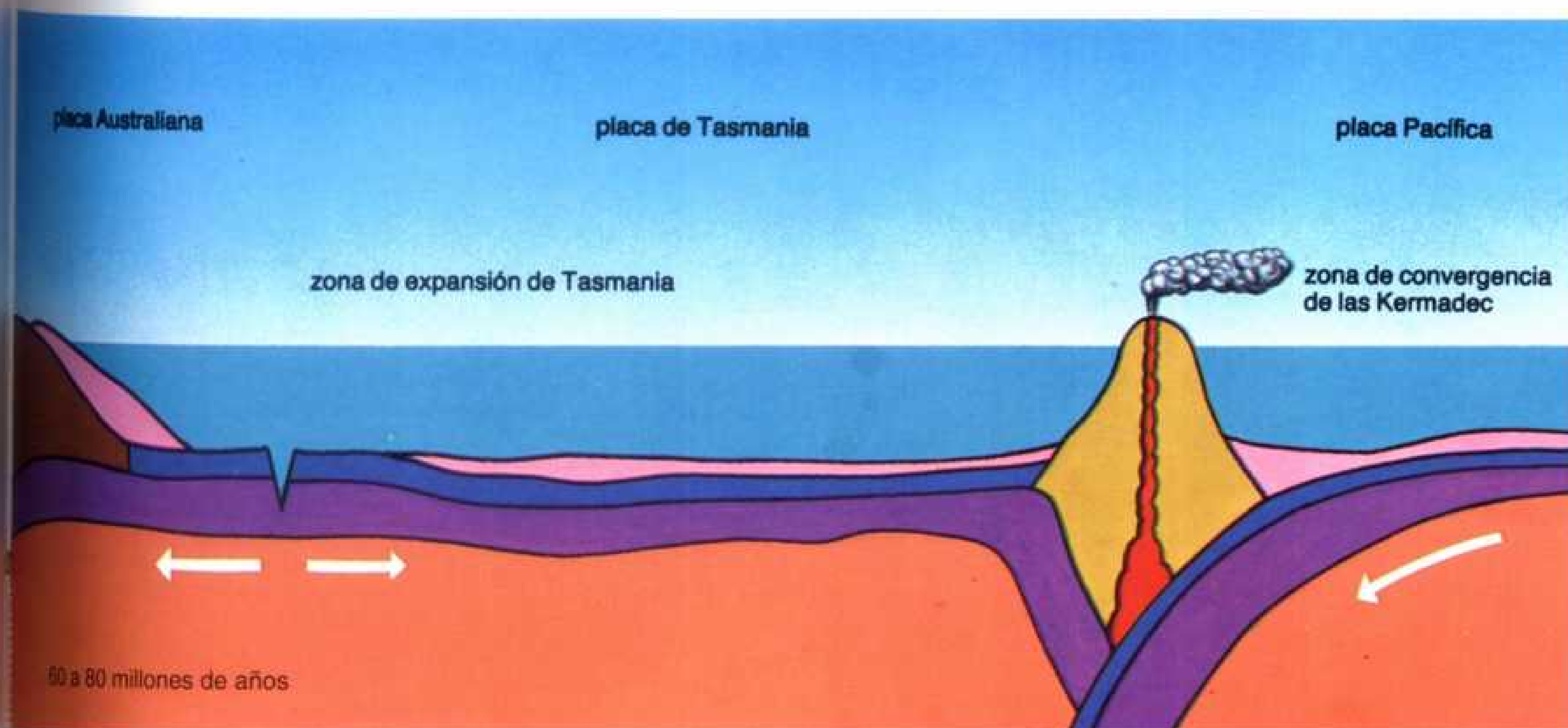


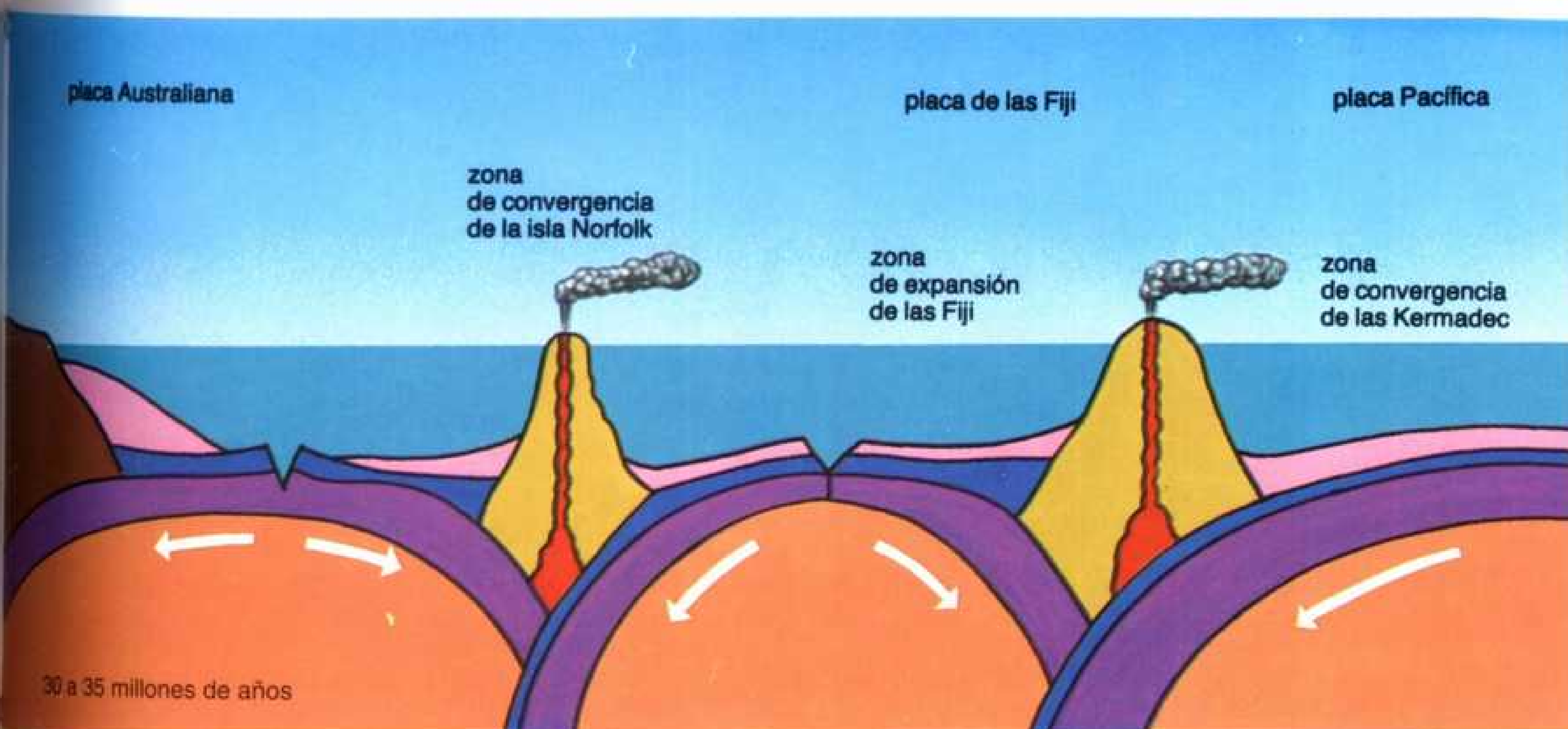
Si una expedición científica procedente de otro planeta se propusiera estudiar la geología de la Tierra, sólo tendría que situarse en la parte occidental del Pacífico para comprender sus mecanismos esenciales. Se trata, en efecto, de un lugar privilegiado de la corteza de nuestro planeta.

El elemento más evidente de la estructura local lo constituye una serie de arcos insulares de origen volcánico que dominan fosas vertiginosas. Aquí, la naturaleza despliega fuerzas colosales. El magma que sale de los cráteres es de tipo viscoso, andesítico, ácido; bloquea a menudo el orificio eruptivo, y los gases que bajo él se acumulan provocan explosiones con caracteres de cataclismo. También los terremotos son frecuentes y devastadores.

Una movida geológica. *La secuencia de esquemas de la página siguiente da una idea de la complejidad de los fenómenos tectónicos propios del Pacífico sudoccidental. Gracias a estos cortes de la corteza terrestre entre Brisbane y las islas Kermadec se comprende la potencia y la violencia del proceso de formación de los arcos insulares volcánicos. Aquí, al lado: el volcán Kao, en el archipiélago de las Tonga. Abajo: el golfo de Lae, en las islas Trobriand.*





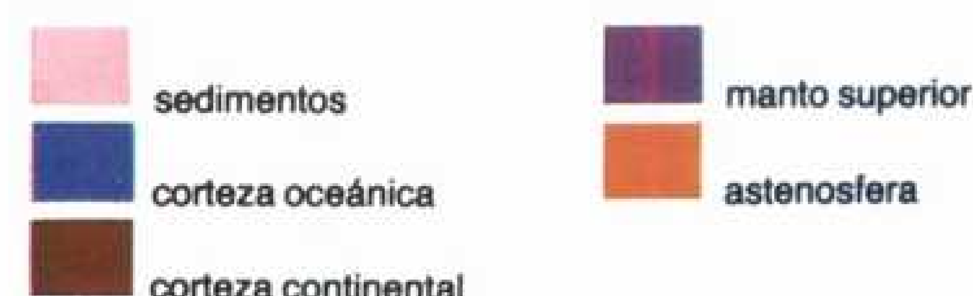




Hoy se sabe ya que toda esta actividad tectónica se debe a que la inmensa placa del Pacífico se hunde bajo la placa Asiática y la placa Australiana. El zócalo basáltico del gran océano se debe al ascenso de magma muy líquido y básico que se lleva a cabo por las fisuras de la dorsal del Pacífico Este; las capas basálticas se extienden a una y otra parte de esta dorsal; se enfrían, aumentan de densidad y, cuando llegan cerca de las placas continentales, se hunden hacia el manto interno de la Tierra. Este fenómeno de subducción calienta por frotación los bordes de las placas continentales, a tal grado que hace fundir las rocas y éstas, transformadas en magma (andesítico, viscoso), dan lugar a los arcos insulares. El movimiento de subducción no es regular: la placa que se hunde puede mantenerse por mucho tiempo «agarrada» a la que la bloquea; cuando se produce el desprendimiento se asiste a un terremoto profundo, cuya magnitud es a veces enorme. (Sin embargo, los seísmos superficiales, aunque de menor potencia absoluta, son con frecuencia más destructores que estos seísmos profundos.)

La placa Pacífica, en general, se introduce bajo la de Asia y la de Australia. Pero este esquema no refleja adecuadamente la complejidad de los fenómenos. En geología, las cosas no son tan sencillas. Así, en la región de las Salomón y las Nuevas Hébridas es la placa Australiana la que pasa bajo la placa Pacífica. Entre las Fiji y las Tonga se enfrentan varias subplacas, en un juego sumamente difícil de comprender; cada una se hunde de un lado y se alza del otro, de suerte que los geólogos requieren de nuevas expediciones de perforación y de exploración submarina para lograr construir un modelo satisfactorio de la tectónica local. La dificultad de la investigación aumenta en cuanto que, acá y allá, se encuentran vestigios de placas y de dorsales que funcionaron hace 40, 60, hasta 80 millones de años.





La Gran Barrera de coral



Los arrecifes de coral son más extensos, más hermosos y vivaces en el Pacífico sudoccidental que en cualquier otra parte. Algunos se presentan bajo forma de atolones (palabra procedente del indomalayo *adal*) elípticos o circulares, en ocasiones totalmente cerrados. Otros se llaman costeros (por estar muy cerca de las costas). Otros constituyen vastas unidades que se llaman de barrera. La más importante de todas es la Gran Barrera australiana, que se extiende desde el noroeste de Australia hasta el estrecho de Torres y el sur de Nueva Guinea. Otros arrecifes del mismo tipo existen al este de Nueva Guinea (barrera de Tagula), cerca de Nueva Caledonia (barrera de Luisiada), e incluso cerca de ciertos arcos volcánicos (Tonga, Nuevas Hébridas, Salomón, Marianas).

La Gran Barrera australiana mide más de 2.000 kilómetros de longitud, su anchura alcanza varios centenares de kilómetros, y su superficie más de 200.000 kilómetros cuadrados. Está establecida sobre la plataforma continental australiana, muy poco profunda en este lugar. Miles de millones de pólipos calcáreos la han edificado pacientemente en el transcurso de los siglos, acumulando el carbonato de calcio hasta formar extraordinarios edificios submarinos. No sin razón, a los corales se les ha llamado los «faraones del mar». Estos necesitan de aguas claras (pues vi-

ven en simbiosis con algas fotosintéticas del género zooxantelas), cuya temperatura no desciende nunca por debajo de los 18 °C (prefieren incluso un mínimo de 20 °C). La presencia de algas microscópicas en la cavidad digestiva de los pólipos es una condición *sine qua non* de su supervivencia. Los celentéreos coloniales proporcionan a los vegetales sus desechos metabólicos y aseguran la renovación constante del agua que los baña; en contrapartida, las algas aportan a los corales el oxígeno y los azúcares indispensables para su existencia. Esta asociación explica que apenas se encuentran corales constructores a más de 30 metros de profundidad. Son muy escasos los rayos luminosos que atraviesan este espesor acuático, y las zooxantelas no pueden garantizar ya su producción clorofílica.

Los arrecifes barrera se desarrollan preferentemente en los afloramientos continentales o insulares, donde las corrientes profundas ascienden y aportan a la superficie sus riquezas minerales. Los corales, en efecto, necesitan de gran medida de compuestos químicos (sobre todo, moléculas ricas en calcio) para edificar sus esqueletos. La amplitud y riqueza de estos arrecifes están además condicionadas por diversos factores concomitantes, como la altura de las mareas, la dirección de las corrientes superficiales, el sentido de los vientos dominantes, etc. Cuando las variables alcanzan sus valores óptimos, el ecosistema se hace sorprendentemente complejo; y las más maravillosas e increíbles formas de vida se despliegan en el agua clara.









***Los corales.** Los mares del Pacífico sudoccidental son el paraíso de los corales. Estos «faraones del mar» construyen gigantescos arrecifes, de los que el más extenso del mundo es la Gran Barrera australiana (página anterior, arriba). En ciertos casos, los arrecifes afloran a la superficie, y se llaman costeros (página anterior, abajo). En esta página, arriba, a la izquierda, una colonia de comátulas, especie de equinodermos. Arriba, a la derecha: madréporas y gorgonias, con pececillos* Chromis *amarillos. Abajo: una madrépora «cerebro de Neptuno».*

La morfología de las costas





Los mares del Pacífico sudoccidental están limitados al este por arcos insulares, y al oeste por Nueva Guinea y Australia. Sus costas presentan un gran número de facetas diferentes. Las del nordeste de Australia, es decir, de la provincia de Queensland, cuentan con algunas de las más bellas playas tropicales del mundo. Se suceden en ellas sobre cientos de kilómetros las extensiones de blanca arena empenachada de cocoteros; soberbios bosques de eucaliptos llegan casi junto al agua; y el arrecife de la Gran Barrera es único por su riqueza y su variedad. Las costas del este australiano, y más todavía las del sudeste (en la región de Sydney), se presentan como una sucesión de playas arenosas y de recortados acantilados; a menudo, un collar litoral entorpece la entrada a las bahías y los puertos naturales; los ríos que bajan de las montañas de Nueva Gales del Sur son sumamente cortos y desembocan en estuarios que parecen de encaje. Las costas de Tasmania, coronadas de eucaliptos, tienen una gran zona medio-litoral rebosante de vida. Es uno de los parajes donde las mareas del Pacífico alcanzan mayor amplitud.

Del otro lado del mar de Tasmania, el navegante descubre las orillas occidentales de Nueva Zelanda. La isla meridional, muy montañosa, cae, en los contra-





El perfil de las costas. *Las costas del Pacífico sudoccidental tienen un coeficiente de ocupación humana bastante bajo: apenas hay allí puertos comparables a los de Japón, China o Indonesia, si se exceptúa Sydney, en Australia (página anterior, arriba). En la página anterior, al centro: la costa de Queensland, al sur de Brisbane. Abajo: el panorama rozagante y las playas de arena fina de la costa australiana al sur de Sydney. Arriba: un fiordo de la isla meridional de Nueva Zelanda (el Milford Sound), con el telón de fondo de las montañas nevadas de los Alpes neozelandeses. Aquí, a la izquierda: los extraños efectos de la erosión debida a los vientos y los brumazones crean estas formas en la costa sur de Nueva Zelanda.*

fuertes de sus Alpes, directamente a pico en el mar; su sector sur está entrecortado por profundos fiordos que recuerdan los de Noruega, con su telón de fondo de brumas y de nieves. La isla septentrional, algo menos elevada por término medio, presenta también un perfil muy recortado, con magníficos puertos naturales.

Los arcos insulares revelan de inmediato su origen volcánico. Algunos cráteres asoman a la superficie y se transforman en atolones coralinos en cuanto dejan de vomitar lava. Otros se alzan varios centenares de metros por encima del nivel del

__Islas de coral.__ Las islas coralinas de los mares del Sur han hecho soñar a generaciones enteras de navegantes. Arriba: un islote cercano a la costa meridional de Nueva Guinea. Al lado: algunos atolones del archipiélago de Nueva Irlanda, que pertenecen al grupo de las Bismarck. En la extrema derecha: una de las islas Trobriand, en el mar de las Salomón, donde la antropóloga Margaret Mead llevó a cabo sus estudios etnográficos.

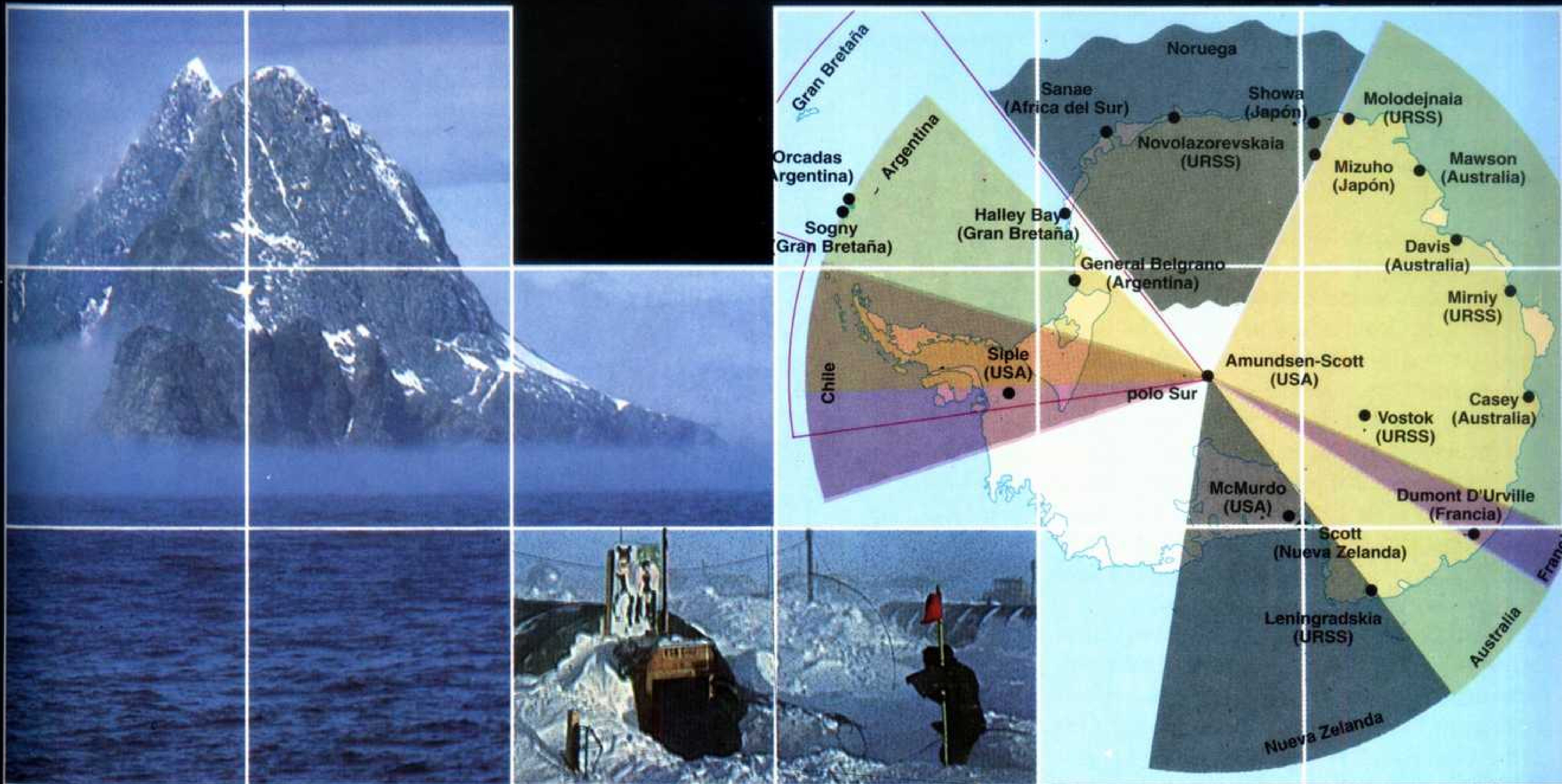




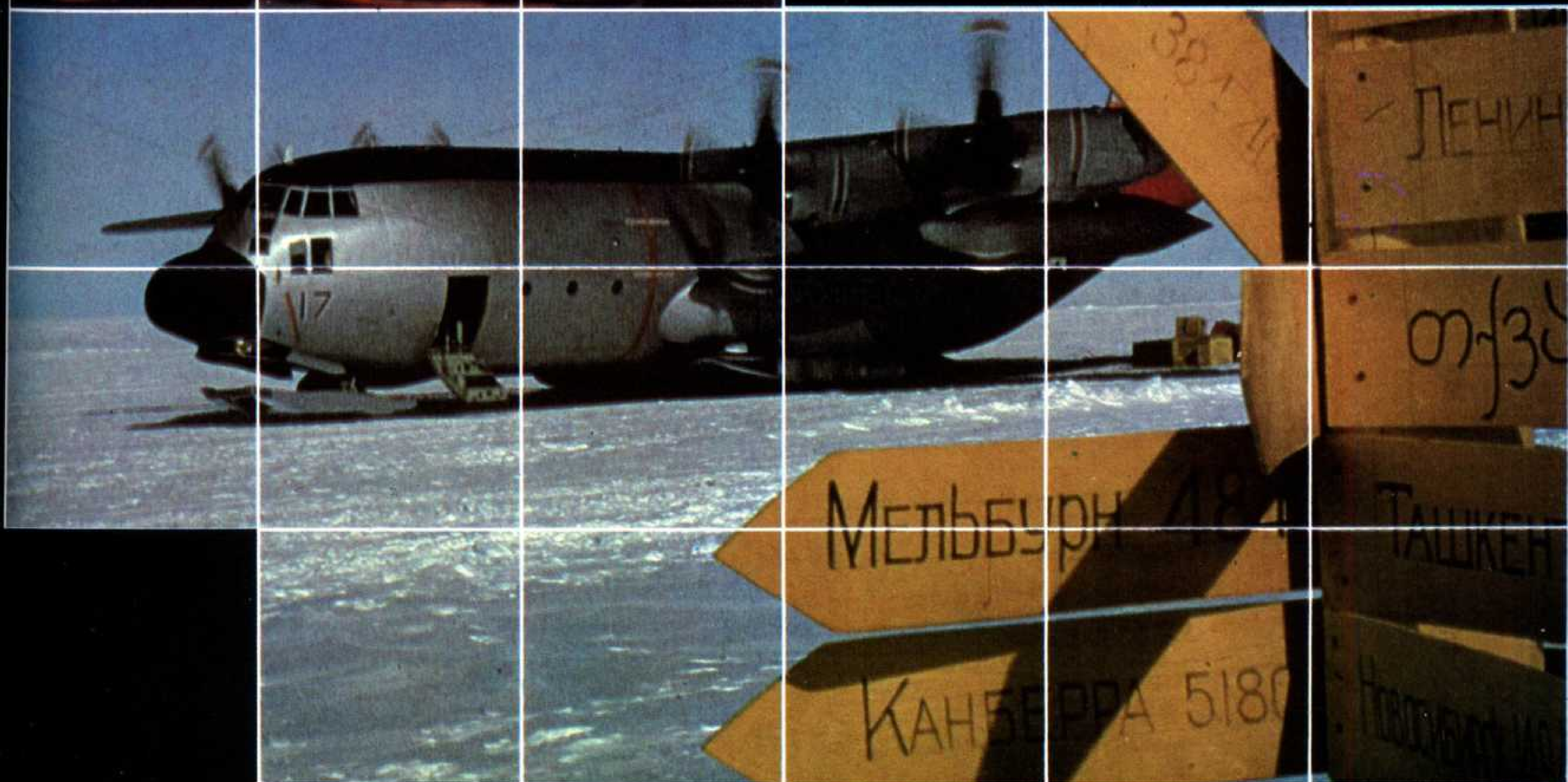
océano. Son potentes conos de rocas ígneas que las lluvias tropicales socavan y sobre cuyas pendientes crece una vegetación lujuriante.

Las islas de Melanesia tienen todas poco más o menos una forma alargada y están orientadas aproximadamente en el sentido sur-este-norte-oeste. Constituidas por formaciones madrepóricas, su zócalo está constituido por una serie de dorsales submarinas fósiles que datan del Terciario.

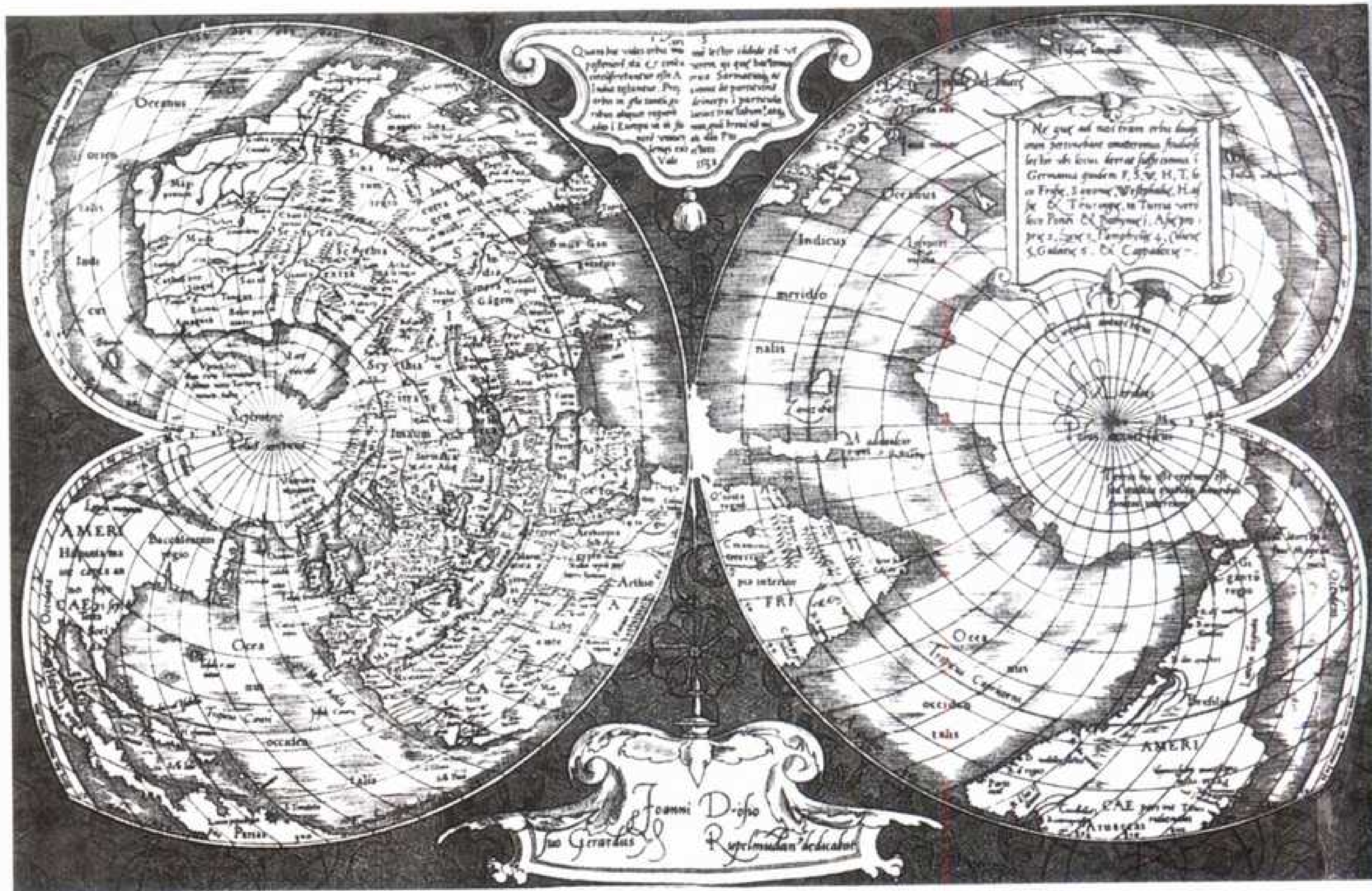
Las costas septentrionales de Nueva Guinea se encuentran entre las más salvajes y bellas del mundo. Tienen abundantes bosques y las recorren decenas de poderosos ríos, cuyas planicies aluviales se transforman en áreas pantanosas o en confusos manglares. Entre los manglares de ensortijadas raíces pasan los inmensos cocodrilos marinos. En las selvas impenetrables viven las famosas aves del paraíso. El monte Djaja, que culmina a 5.040 metros de altitud, domina la bahía de Irian y las islas Schouten. En cuanto a las islas meridionales del archipiélago de las Filipinas ofrecen a la vista infinitos recortes, con bahías profundas y complicadas, cortadas en vivo en la roca volcánica y cubiertas de una impenetrable selva virgen.



El océano Antártico



La última *Terra Incógnita*





Los geógrafos de la Grecia antigua sustentaban casi todos la hipótesis de la existencia de una «Tierra austral», simétrica de las tierras septentrionales y capaz de «equilibrarlas». Ptolomeo, en el siglo II antes de nuestra era, dibujó también en su famoso mapa una enorme masa continental unida a Africa y al Extremo Oriente, que hacía del océano Indico un mar cerrado. Durante los trece siglos siguientes, los geógrafos continuaron representando la Tierra a la manera del maestro de Alejandría.

El continente Austral aparece bajo una forma nueva en un mapa del mundo trazado en 1531 por Orontius Fincus, y reproducido siete años más tarde por Gerardo Mercator. Aunque basadas en puras conjeturas, estas representaciones fueron una gran aportación a la ciencia, pues pensando en ellas muchos exploradores partieron a los mares del Sur.

El primer navegante que se acercó a la Australia real fue el español Torres, que franqueó en 1606 el estrecho que lleva su nombre; a continuación, los holandeses desembarcaron en Australia del Norte, y Abel Tasman llegó a Tasmania; más de un siglo después, el inglés James Cook arribó a Botany Bay, cerca de la actual Sydney. Durante su segundo viaje (1772-1775), el capitán Cook descendió mucho más abajo, hacia el sur. Lo detuvo la banquisa cuando había alcanzado el grado 71 de latitud austral. El francés Bouvet de Lozier pasó varias veces el círculo polar Antártico por la misma época. Hay que esperar hasta 1820, con el ruso Taddheus von Bellingshausen, para que los europeos vuelvan a aventurarse tan lejos.

En el siglo XIX, una buena parte de la exploración de los parajes de la Antártida fue obra de los balleneros y los cazadores de focas. Estos hombres, atraídos por los inmensos rebaños de cetáceos y de pinnípedos de los mares australes, exterminaron cuanto se les ponía por delante para llenar sus bodegas de aceite y pieles; ellos fueron los primeros en pisar el continente Antártico. Así, el americano Nethaniel Palmer encontró la península que lleva su nombre, y el inglés James Weddell, «su» mar.

Otras expediciones tuvieron una finalidad esencialmente científica. Así, la del capitán americano Wilkes, entre 1838 y 1842, quien exploró la tierra de Wilkes; y la del francés Jules Dumont d'Urville, quien, a bordo de sus dos corbetas, *Astrolabe* y *Zélée*, tocó en 1840 tierra Adelia (nombre de la esposa del capitán). El inglés James Ross, en 1841, aprovechó unas condiciones climáticas excepcionalmente favorables: entró en el mar que lleva su nombre, vio los dos grandes volcanes de la Antártida (a los que dio los nombres de sus dos barcos, *Erebus* y *Terror*) y costeó la tierra Victoria hasta el mar de Weddell, donde llegó en 1842. Fue el primero en tomarle la auténtica medida a la Antártida; y si subrayó su falta de todo interés comercial (hielo por todas partes...), ponderó la riqueza en ballenas de las aguas locales.

En la segunda mitad del siglo XIX abundaron poco las misiones científicas al océano Antártico, pero mucho las campañas balleneras. Los cazadores se encarnizaron no sólo con las ballenas francas negras y con los cachalotes, sino también, tras la invención del cañón arponero en 1865, con los rorcuales comunes, las ballenas azules y las ballenas jorobadas, entre los que hicieron una auténtica carnicería.

Fue a principios del siglo XX cuando los exploradores se lanzaron verdaderamente a la conquista del polo Sur. El primero que estuvo a punto de conquistarlo fue el inglés Ernest Shakleton, en 1908-1909. El noruego Roald Amundsen logró el objetivo en 1911, seguido meses más tarde (en 1912) por el británico Robert Scott (cuyo trágico fin en el glaciar es de todos conocido, a pocos kilómetros de un depósito de víveres). Como consecuencia de esta carrera hacia el polo, sobre todo de prestigio, sobrevino la época de la exploración científica sistemática. Los británicos hicieron mucho por la investigación en la Antártida, especialmente con

Un continente difícil: *Desde la antigüedad se pensaba en una gran «Tierra austral» desconocida. El planisferio de Mercator, en 1538, ofrece su representación imaginaria, curiosamente bastante aproximada a la realidad (en esta página, arriba). Arriba: uno de los primeros navegantes que reconoció la costa de la Antártida fue el francés Jules Dumont d'Urville, quien, con sus dos corbetas,* As*trolabe* y *Zélée, tocó tierra, llamándole Adelia. Página siguiente, abajo, a la izquierda: el* Endurance, *de Ernest Shakleton, bloqueado por la banquisa en el mar de Weddell; en el centro: Roald Amundsen en el polo Sur; en el centro, abajo: Shakleton y un compañero; a la derecha, arriba: Richard Bird; a la derecha, abajo: Robert Scott y uno de sus famosos poneys.*

Cook 1772-75
Weddell 1820-24
Wilkes 1839-40
Filchner 1911-12
Scott 1911-12
Byrd 1928-30

Ellsworth 1935
Fuchs-Hillary 1958
Spedizione sovietica 1959
Ross 1840-43
Byrd 1946-47
Shakleton 1908-09
Amundsen 1910-12







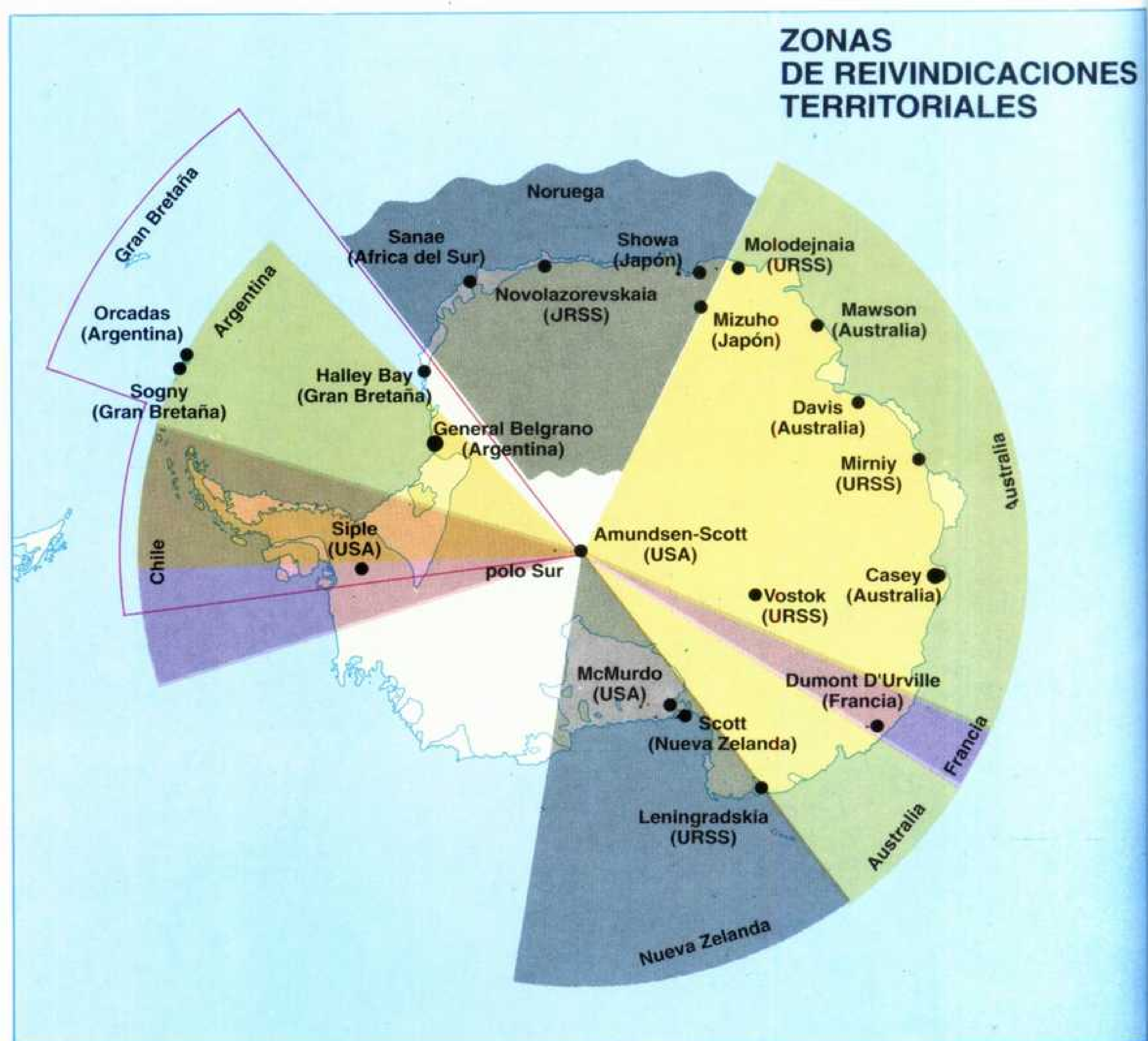




sus *Discovery Investigations.* Este organismo, encargado de estudiar las condiciones de vida y de reproducción de las ballenas, acumuló mucha documentación sobre el conjunto de los mares del polo austral.

Pero, sobre todo, los trabajos del Año Geofísico Internacional, en 1957-1958, supusieron una aportación sustancial. Gran número de naciones aceptaron cooperar, en el continente Antártico, en provecho únicamente de la ciencia. Este compartir equipos y técnicas de investigación tuvo algunos problemas, pero en conjunto los resultados fueron satisfactorios. El tratado de la Antártida, firmado en 1952 por doce países, entró en vigor el 23 de junio de 1961, y congela por treinta años cualquier reivindicación territorial sobre el continente, limitándolo a la pura investigación científica. Además de los doce países signatarios originalmente, Polonia se adhirió no hace mucho al tratado.

Desde luego, no faltan las reservas mentales. Los estados firmantes respetan las cláusulas del acuerdo, y las únicas bases existentes en la Antártida son civiles; pero podemos preguntarnos si todas las expediciones se prestan al juego. Ya en la actualidad, la eventualidad de explotar las riquezas minerales del subsuelo (carbón, hidrocarburos, uranio, metales diversos) excita las apetencias. La recolección a gran escala del *krill* (estas quisquillas planctónicas de las que se nutren ballenas y pingüinos) es objeto de serios estudios, más bien inquietantes para el entorno. Finalmente, los espíritus más prudentes se preguntan por qué, mientras la mayoría de los países representados tienen como máximo tres bases científicas instaladas en la Antártida (Estados Unidos, tres; Australia, tres; Gran Bretaña, dos; Argentina, dos; Japón, dos; Francia, una; Nueva Zelanda, una), la Unión Soviética, sin embargo, tiene siete bases...







Una tierra de potenciales conflictos. *La exploración de la Antártida fue muy tardía. A partir del Año Geofísico Internacional de 1957-1958, la gran tierra austral se ha convertido en un lugar de cooperación científica único en el mundo. El tratado de la Antártida, firmado en 1959, prohíbe cualquier reparto territorial durante treinta años. Sin embargo, los problemas subsisten, sobre todo ante las riquezas biológicas y minerales del océano y de las tierras continentales antárticas. Todas las bases actualmente existentes tienen una finalidad puramente científica (arriba y en la página siguiente: tres aspectos de la nueva estación americana Williams-Field; aquí, a la derecha: la base soviética Vostok), pero, ¿la seguirán teniendo siempre? Las riquezas de esta zona han despertado ya la codicia de las grandes potencias.*





Vientos, corrientes y mareas

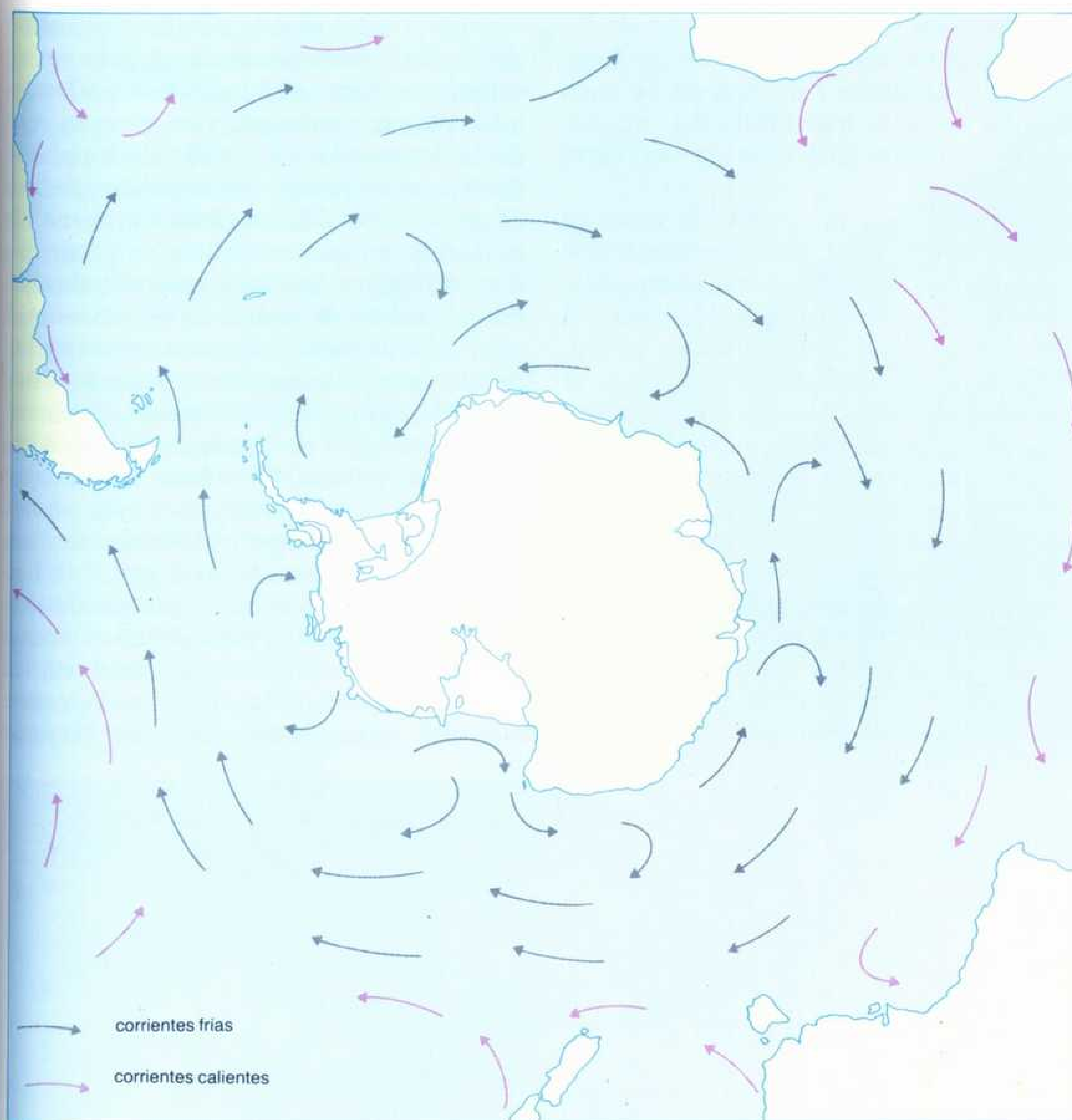
UNA de las constantes atmosféricas de los mares polares es el viento. Los vientos de la Antártida, casi incesantes, se desatan a veces en mortíferas ventiscas. Prevalecen los vientos del oeste, que soplan atemporalados. Levantan en el mar olas enormes y son responsables de la deriva general oeste-este de las aguas del océano Austral.

La acción contradictoria de los vientos fríos que llegan de la Antártida y de las masas de aire relativamente caliente y húmedo procedentes de las regiones templadas, determina —entre los 40 y los 60 grados de latitud austral— una zona de ciclones y de temibles temporales que los marinos conocen muy bien. Son los famosos «Cuarenta Rugientes», que presentan el oleaje más fuerte del mundo, y donde se desatan los elementos casi constantemente.

En la costa misma de la Antártida, las mareas son más bien de escasa amplitud, y sólo se observa un ciclo de flujo y de reflujo por cada 24 horas. Sin embargo, en un lugar de la península y en otro de la costa oriental, la periodicidad es de 12 horas y media. El balanceo de la pleamar y de la bajamar apenas supera un metro, salvo en la región de la península (1,5 a 2,2 metros), en la costa que está enfrente



Vientos y corrientes poderosos. *Toda la región antártica está sometida a vientos violentos. Las borrascas alcanzan a menudo los 300 kilómetros por hora y la ventisca congela todo a su paso, constituyendo el principal obstáculo para la penetración humana en el continente austral. Arriba: hielos a la deriva en el mar de Bellingshausen. Aquí, al lado: un meteorólogo mide la velocidad del viento con un anemómetro. En la página siguiente, arriba: el mapa de las principales corrientes del océano glacial Antártico. Abajo, a la izquierda: temporal en los «Cuarenta Rugientes». Abajo, a la derecha: perturbación nubosa sobre las Orcadas del Sur, que anuncia un rápido cambio del tiempo, es decir, una tormenta.*







de Australia (1,2 a 1,5 metros), y en los mares de Ross y de Weddell. En este último, las mareas podrían denominarse «mixtas»: tienen un componente diurno (24 horas) y otro componente semidiurno (12 horas). En el mar de Ross son estrictamente diurnas (24 horas). La amplitud alcanza un máximo de tres metros en el primer caso y de 1,5 metros en lo que se refiere al segundo.

Las olas de marea se ven considerablemente amortiguadas por el caparazón de hielo que cubre una parte del océano Antártico durante todo el año. En las regiones costeras, el océano suele estar en calma. Pero los temporales son en ellas peligrosos: levantan olas cortas y poderosas, o empujan a los barcos contra los icebergs. Pero no todos los parajes de la Antártida se comportan igual ante el mal tiempo. La región donde los temporales se desencadenan con mayor violencia es la de la península.

El sistema de corrientes del océano Antártico ha sido objeto de gran número de experimentos, de mediciones y de estudios hidrográficos, por lo que en la actualidad es bastante bien conocido. Se trata de algo importante, en la medida en que condiciona la circulación de las aguas en los tres grandes océanos. Así como las masas de aire de la Antártida «hacen» el clima de la Tierra, también las masas de agua del océano Austral «hacen» el del mar...

Cerca del continente Antártico se observa un flujo de débil potencia llamado «deriva oriental», que corre de Este a Oeste. Originado por el viento, su intensidad es muy variable en función de las estaciones, según que el mar esté o no cubierto por la banquisa.

La rápida corriente circumpolar antártica, a cierta distancia de la orilla, gira incansablemente de Oeste a Este en torno del continente Austral. Llamada también «deriva occidental», se debe a los poderosos vientos constantes del Oeste que soplan en estas latitudes. Sin embargo, por la rotación de la Tierra, estos vientos y estas corrientes se desvían hacia el Norte: así se forma la Divergencia Antártica.

La corriente circumpolar austral presenta una regularidad única en el mundo: gira alrededor de la masa antártica, en las cercanías de los 50 grados de latitud Sur, como un reloj. Posee también otra interesante particularidad: es una corriente que ocupa prácticamente toda la «lámina» del agua local. No es sólo superficial: en muchos sitios roza el suelo del océano. Por supuesto, no describe una trayectoria rigurosamente circular: los accidentes topográficos la obligan a dar rodeos, especialmente frente a las costas de Tasmania. A veces se estrecha, y otras ensancha su lecho. Su anchura varía entre 20 y 2.000 kilómetros, y su velocidad es del orden de 1,5 kilómetros por hora.

Los especialistas difieren en el cálculo de la cantidad de agua en movimiento. Según los trabajos de los investigadores soviéticos, alrededor de 150 millones de metros cúbicos pasan cada segundo por el estrecho de Drake, entre la península Antártica y el cabo de Hornos. Según otros estudios, la corriente circumpolar austral lleva 270 millones de metros cúbicos frente al cabo de Buena Esperanza y 200 millones frente a las costas de Tasmania. El cálculo más modesto —el de los soviéticos— muestra que el caudal de esta corriente de deriva es por lo menos el doble del Gulf Stream y mil veces más que el Amazonas.

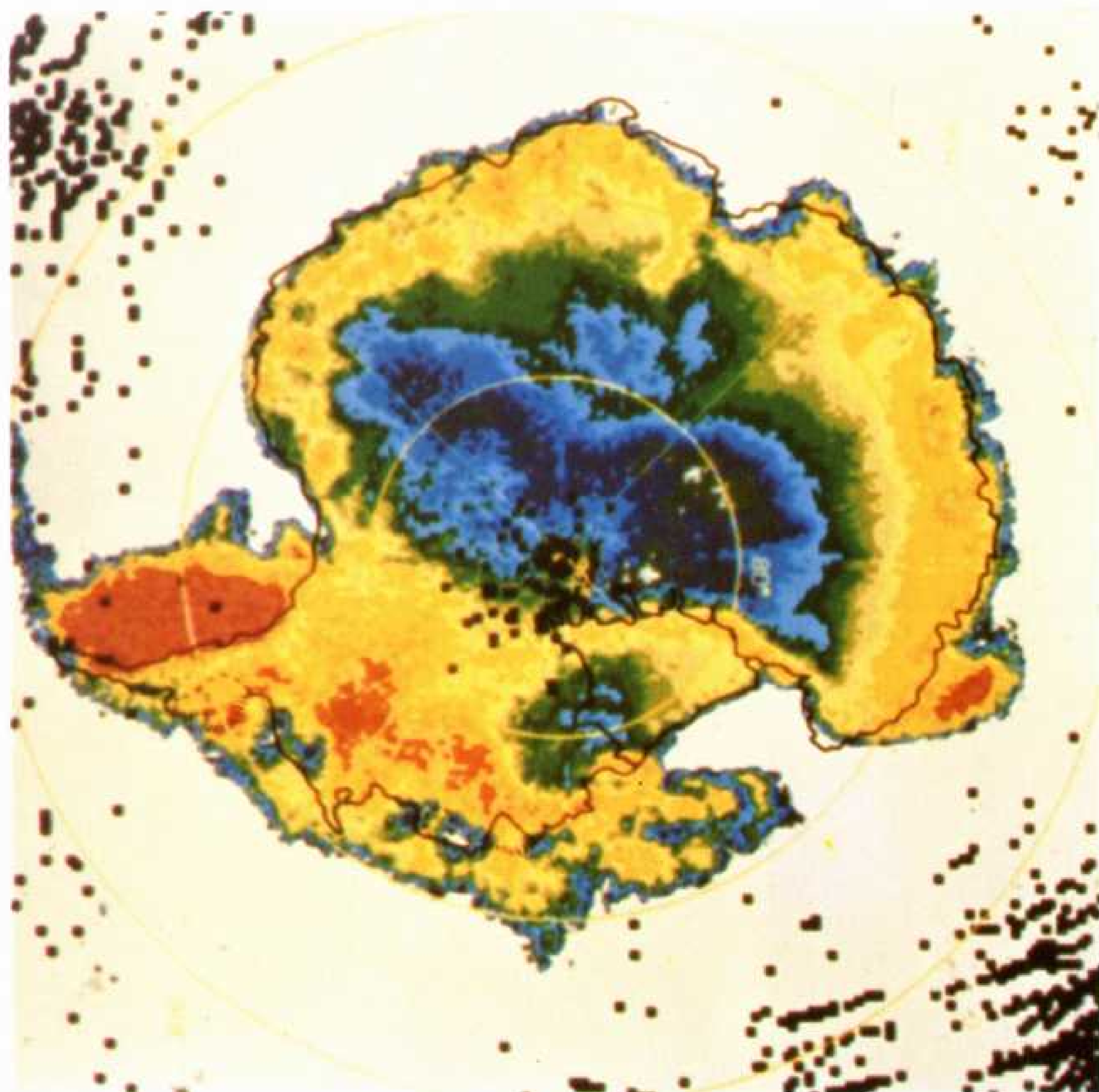
La intervención de tales fuerzas afecta al equilibrio dinámico del sistema agua-atmósfera. Los intercambios energéticos que conciernen al océano Antártico repercuten en los climas del globo. Con razón se ha dicho que el tiempo que va a hacer en no importa qué punto del planeta está inscrito en el polo Sur... Por ello resultan verdaderamente indispensables las bases científicas establecidas en el gran continente Austral y en las islas adyacentes, en el marco del tratado de la Antártida, al objeto de poder investigar todos los parámetros climáticos.

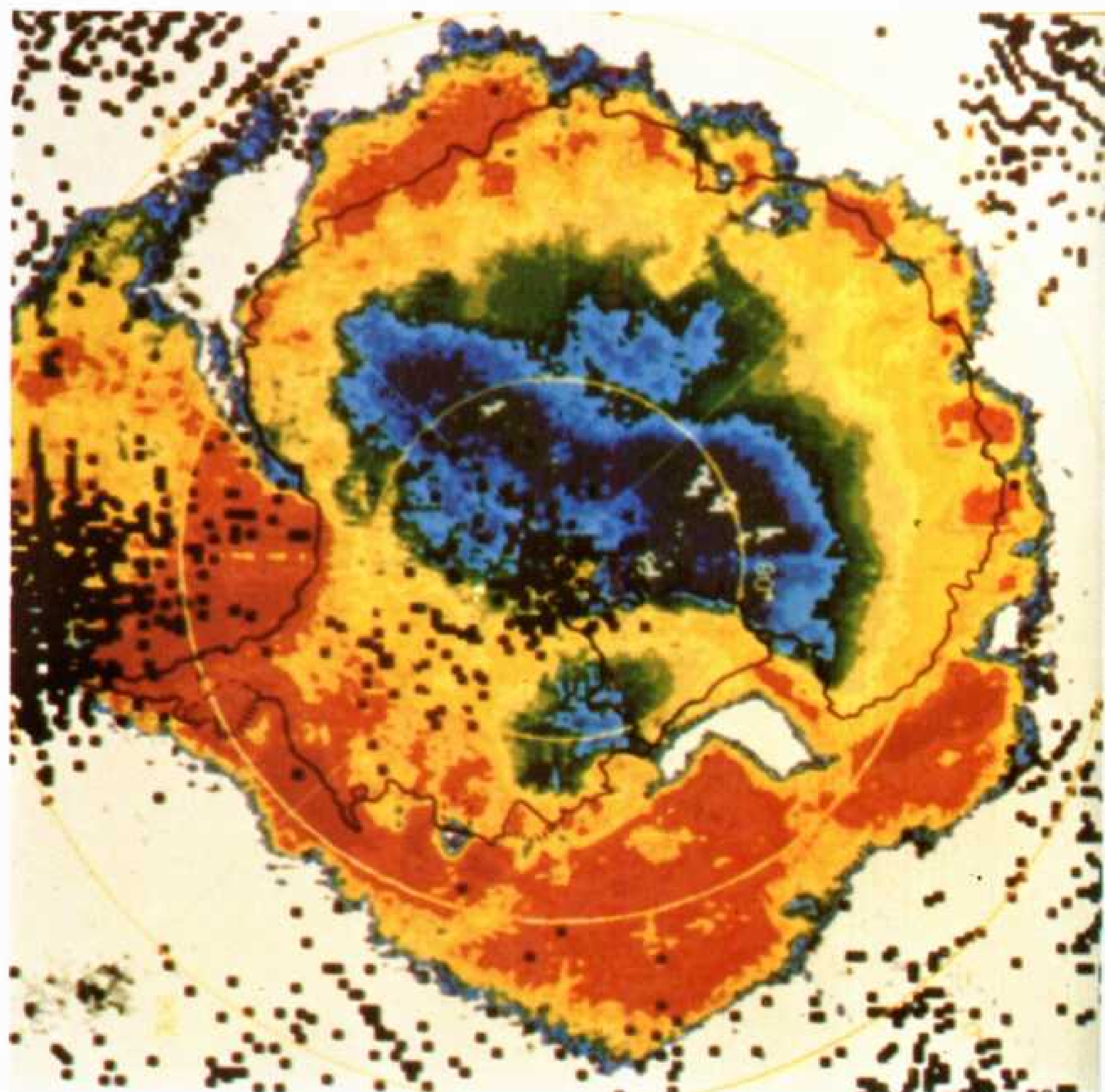
Las masas de agua en movimiento

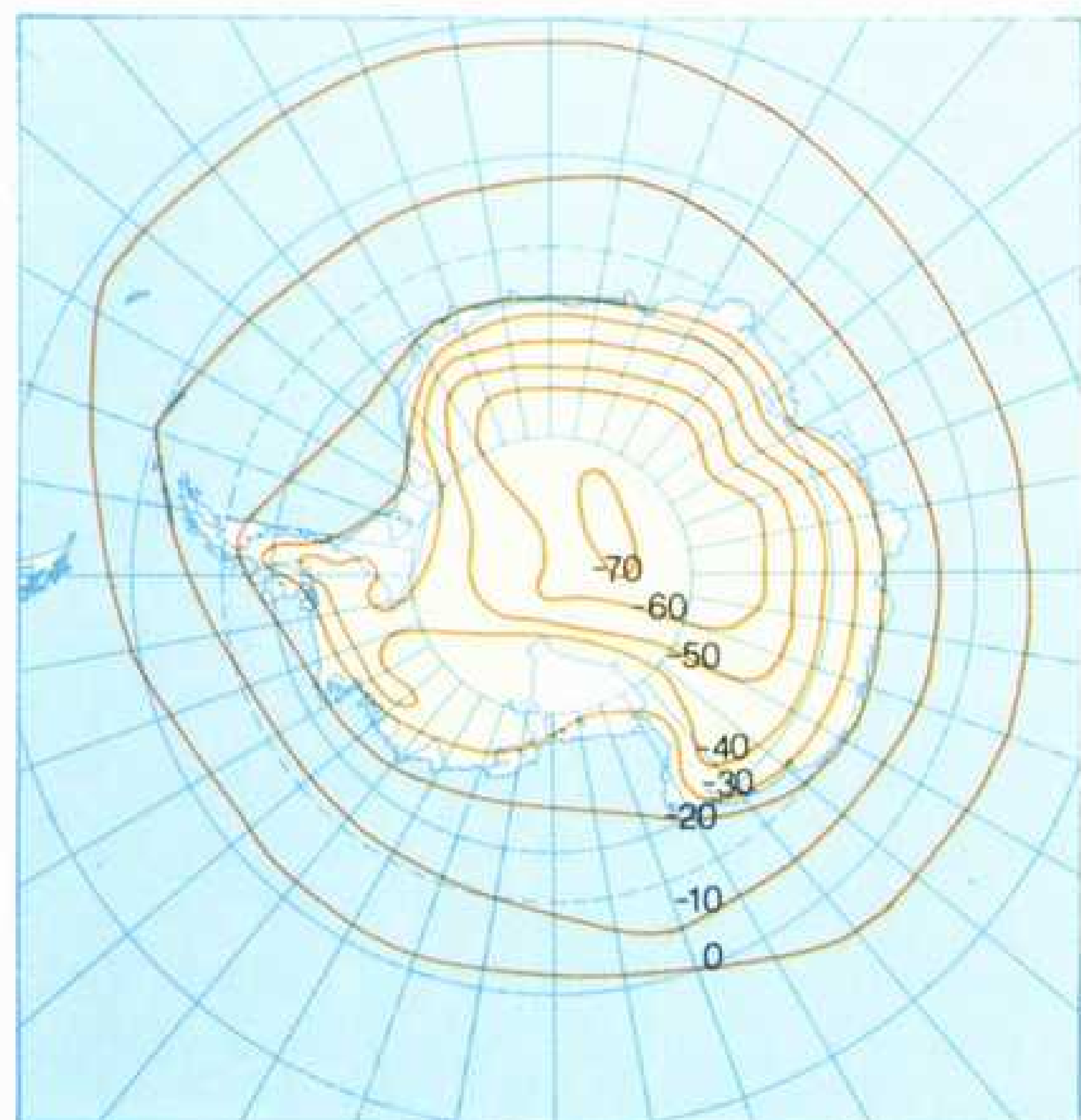
La región comprendida entre los 40 grados de latitud Sur y el continente Antártico abarca las partes meridionales de los océanos Atlántico, Indico y Pacífico, así como el océano glacial Antártico propiamente dicho. Es una zona bien individualizada desde el punto de vista oceanográfico (masas de agua, temperaturas superficiales, salinidad), meteorológico y biológico. Considerados en conjunto, estos mares australes ocupan una superficie de 32.248.000 kilómetros cuadrados (sin incluir la banquisa), y tienen una profundidad media de 3.700 metros. Los sectores meridionales de los océanos Indico y Pacífico constituyen las dos terceras partes de esta superficie, cuya principal característica es la de que, si se da la vuelta siguiendo un paralelo, se vuelve al punto de partida sin encontrar prácticamente ninguna tierra emergida.

El océano circumpolar Austral puede dividirse en varias zonas concéntricas más o menos bien caracterizadas. Una de las mejor individualizadas es la de la Convergencia Antártica. Se trata de la línea divisoria acuática más nítida del mundo: separa las aguas antárticas de las aguas subantárticas.

En el interior de la corona de agua en movimiento hacia el Este que constituye la corriente antártica existen componentes de fuerzas con dirección norte-sur. El lugar donde estos fenómenos se producen se llama Convergencia Antártica. A este nivel se efectúan los intercambios entre las aguas antárticas, más frías y más densas, que tienden a descender, y las aguas subantárticas, menos frías y más ligeras, que pasan sobre las primeras. Prácticamente, el emplazamiento de la Convergencia se determina por el gradiente de las temperaturas. En efecto, en pocas decenas de kilómetros se advierte un auténtico «salto térmico» entre las aguas polares y subpolares: las primeras



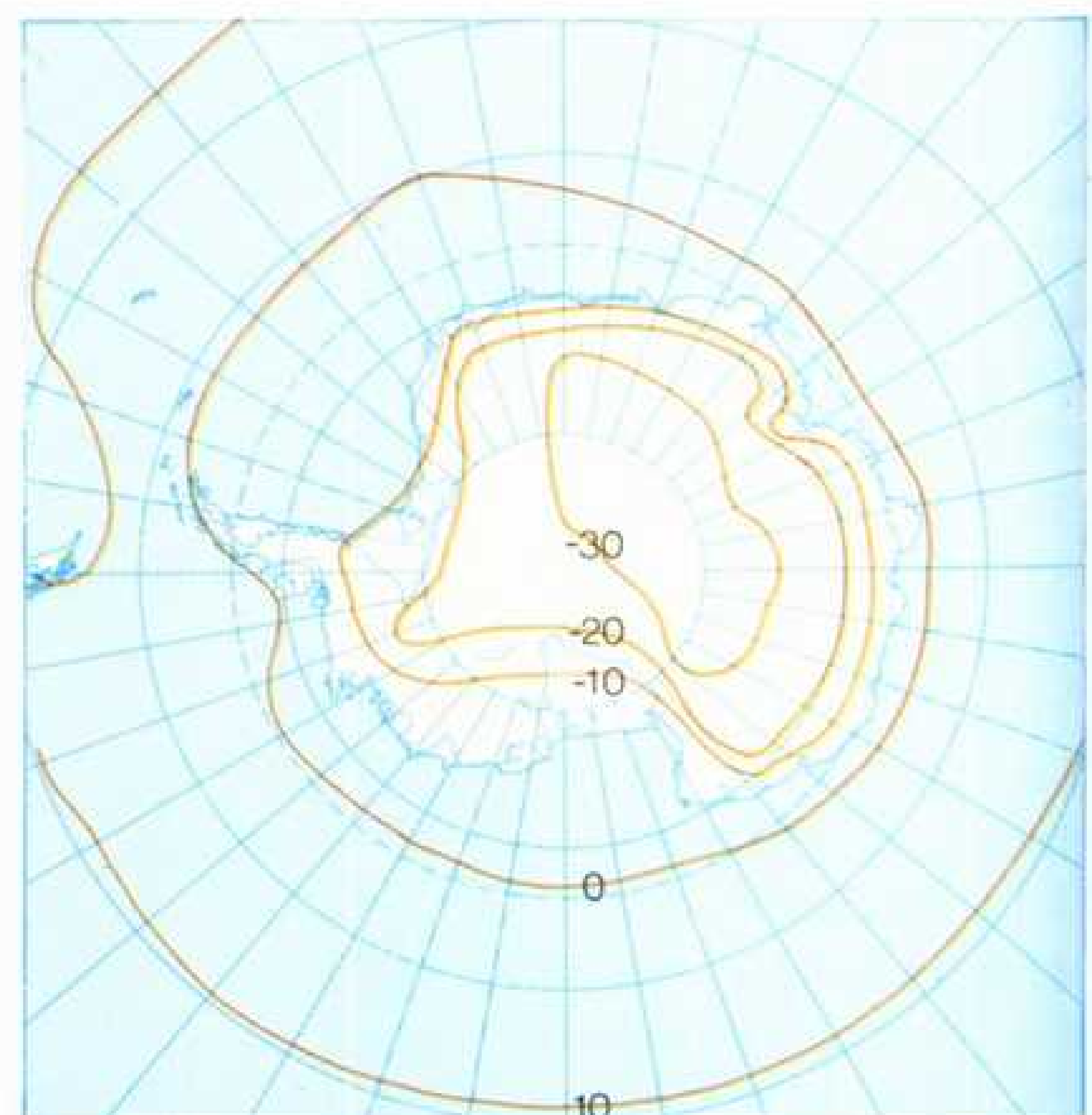




están a 0,5 °C en invierno y 3 °C en verano, mientras que las segundas permiten leer respectivamente 3 °C y 5,5 °C en la columna de mercurio.

No obstante, como en oceanografía las cosas nunca son tan simples, recientes investigaciones han puesto de manifiesto que la Convergencia Antártica se acompaña de numerosas divergencias locales, y que el «salto térmico», a menudo muy brusco, es mucho menos súbito en otros lugares. Por esto, algunos especialistas prefieren hablar de «zona de frente polar». Esta se desplaza en función de las estaciones, en un «tenedor» cuya amplitud alcanza 100 kilómetros aproximadamente, y forma una banda continua alrededor del continente Austral, pero se establece en torno al 50 paralelo sur frente a la Antártida oriental, y en torno al grado 62 frente a la Antártida occidental. Es decir, que no es rigurosamente circular.

El agua superficial antártica fría, en el momento en que se desliza en profundidad al llegar a la Convergencia, se mezcla parcialmente con el agua subantártica, convirtiéndose entonces en lo que se llama agua intermedia antártica. Esta masa acuática es poco salada (pues en gran parte es el resultado de la fusión de los hielos polares y no está sometida a una fuerte evaporación); por otra parte, es muy rica en oxígeno. Cuando alcanza la salinidad media de 33,8 por 1.000 y una temperatura de 2,2 °C emprende —a unos 900 metros de profundidad— un extraordinario viaje hacia el norte. En la parte occidental de los tres grandes océanos, esta masa acuática forma un río pro-



fundo hasta el grado 25 de latitud Norte. Es tan grande la cantidad de agua fría profunda producida por el océano Antártico que, comparativamente, parece casi menospreciable la masa de las aguas frías similares «fabricadas» por el océano glacial Artico. Estas aguas glaciares se originan en todo el entorno del continente Austral; pero son dos los «centros de enfriamiento», que funcionan con un rendimiento impresionante: el mar de Weddell y el de Ross. En estas dos cuencas perpetuamente cubiertas de hielo desembocan los mayores glaciares de la Antártida, que es tanto como decir los mayores del mundo. Bajo la placa flotante (el *ice-shelf*, el «escudo de hielo») de Weddell y de Ross, el agua del mar se mantiene casi constantemente a una temperatura de menos de 2 °C. Esta masa acuática, al escapar hacia la corriente de deriva circumpolar, y de allí hacia el norte de la región de la Convergencia, equilibra en buena parte los intercambios térmicos de la hidrosfera y juega así un papel decisivo en la formación de los climas de nuestro planeta.

Las resurgencias de las aguas profundas muy oxigenadas (y ricas en sustancias nutritivas) corresponden casi por doquier a zonas de alta productividad biológica. Las aguas antárticas no sólo equilibran el balance calorífico de la Tierra, sino que mantienen también directamente la vida marina al propiciar la proliferación del plancton, esto es, la multiplicación de todas las formas animales que dependen de esta biomasa primaria. Muchos pescadores profesionales ignoran que deben la importancia de sus capturas a las corrientes profundas procedentes del gran continente de hielo.



El clima y la hidrología. *Durante el corto verano, el continente Antártico experimenta importantes cambios climáticos, como se advierte en las dos fotografías en «falsos colores» (a la izquierda: a mitad de diciembre; a la derecha: a finales de enero). Los dos mapas de abajo muestran las isotermas de invierno (julio, a la izquierda) y de verano (enero, a la derecha). En esta página: el esquema del ángulo superior derecho muestra la circulación superficial y profunda de las aguas entre la Antártida y Australia, y especialmente la formación de la Convergencia. Aquí arriba aparece el mar de Amundsen helado. La fotografía fue tomada, naturalmente, desde un satélite artificial.*

Las cuencas y la historia geológica

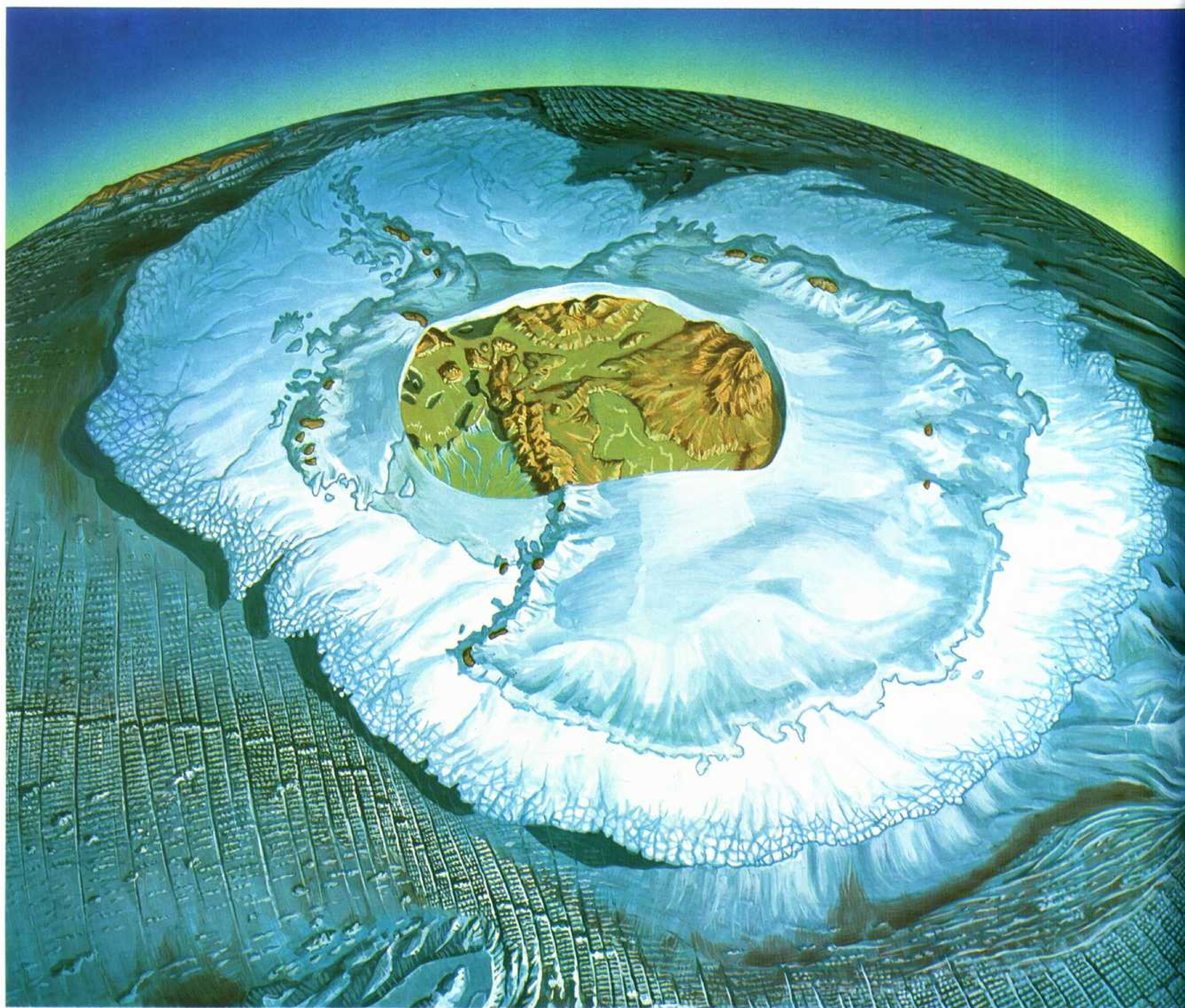
ALREDEDOR de la Antártida, la plataforma continental es estrecha, salvo en las anchas «muescas» que constituyen los mares de Ross y de Weddell. En total, esta plataforma continental cubre una superficie del orden de cuatro millones de kilómetros cuadrados. Se distingue de todas las demás por su profundidad media: 400 a 500 metros, contra los aproximadamente 200 habituales. Se ha pensado que este hecho se explica por el enorme peso de los hielos que cubren el continente antártico; sin embargo, ciertas investigaciones gravimétricas recientes parecen demostrar que esta hipótesis no es totalmente satisfactoria, y los geólogos buscan en otras direcciones.

El talud continental, con pocas excepciones, desciende abruptamente a más de 3.000 metros. Las planicies abisales, amplias, se extienden entre 3.700 y más de 5.000 metros.

El océano glacial Antártico comprende tres cuencas principales aisladas por dorsales. La cuenca del Atlántico Sur, esencialmente compuesta por la llanura abisal de Weddell, está limitada al oeste por la península Antártica que prolonga la dorsal de Escocia, y al este por los contrafuertes de la dorsal medio-atlántica. La cuenca del océano Indico Sur, que le sigue hacia el este, está dividida en dos subcuencas: la planicie abisal de Enderby y la de Wilkes, separadas por la dorsal de las Crozet y de las Kerguelen. Se pasa luego (franqueando la dorsal de las Macquarie) a la cuenca del Pacífico Sur, también ella dividida en dos llanuras abisales: la de Ross y la de Bellingshausen. La profundidad máxima en la cuenca del Atlántico Sur es de 5.872 metros; la de la cuenca del océano Indico Sur, de 5.455 metros, y la de la cuenca del Pacífico Sur, de 6.414 metros.

Las dorsales submarinas que entrecortan el océano glacial Antártico juegan un importante papel en la circulación de las aguas locales: frenan y desvían las corrientes y, por consiguiente, influyen en los intercambios acuáticos del océano mundial en su conjunto. La más poderosa —la que con más frecuencia se acerca a la superficie y, por tanto, la que más perturba a la gran corriente de deriva antártica— es la dorsal de Escocia, que une en un trazado sinuoso a la península Antártica con la Tierra del Fuego. En cuanto a la dorsal medio-atlántica, se acerca a la antártica frente a las costas de Africa del Sur, antes de ascender en el océano Indico, de volver a rozar la Antártida al sur de Australia, y luego de subir nuevamente al norte en el Pacífico, donde se convierte en la dorsal del Pacífico oriental.

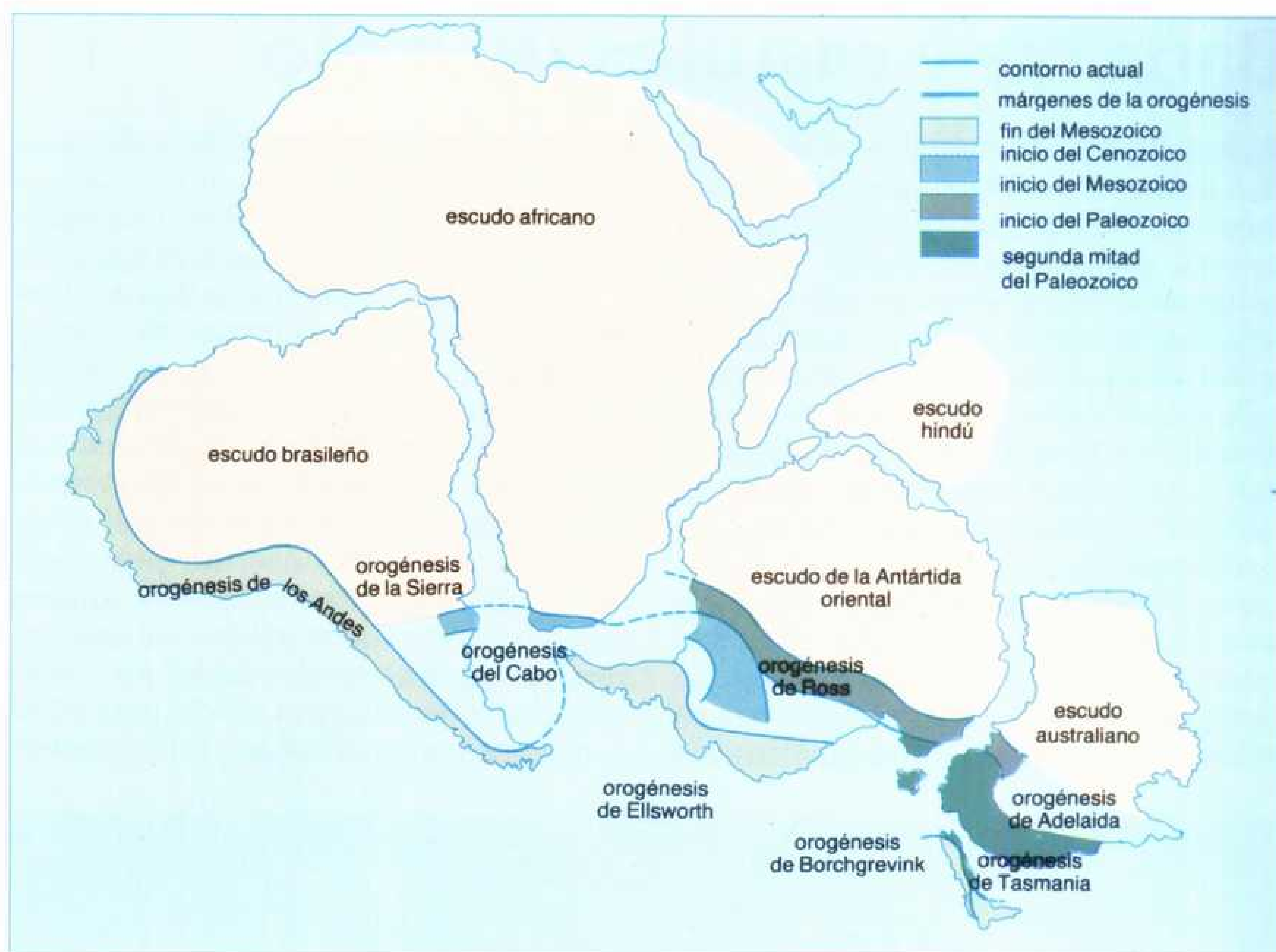
La única gran fosa del océano Antártico



está situada inmediatamente al este de las islas Sandwich del Sur (las cuales constituyen una emergencia de la dorsal de Escocia, al igual que las Shetland del Sur, las Orcadas del Sur y la Georgia del Sur): con una longitud de 560 kilómetros, alcanza una profundidad máxima de 8.430 metros.

Alrededor de la Antártida, la sedimentación funciona según un proceso original: son los glaciares los que aportan al mar las partículas minerales que arrancan al zócalo rocoso continental. A medida que se van fundiendo, arrastrados por las corrientes hacia el norte, los icebergs pierden los guijarros, gravas y tierras en ellos incrustados cuando formaban parte del inlandsis. En ciertos lugares, lo esencial de los cienos del fondo es de origen biológico: caparazones de diatomeas o restos minerales de foraminíferos. En torno del continente Austral existe un ancho cinturón constituido por estos materiales; más al norte se encuentra una corona de cienos de globigerinas, mientras que en el fondo de las planicies abisales predominan las arcillas rojas.

En la Antártida se encuentran ciertos vestigios que permiten reconstruir la historia geológica del continente. Ya en 1937, el sudafricano Alexander Du Toit, en su libro *Our wandering continents* («Nuestros continentes errantes»), inspirándose en la tesis del alemán Alfred Wegener, consideraba a la Antártida como la clave de todo el proceso de la migración de las tierras de nuestro planeta. Estudios geofísicos más recientes, basados en la hipotésis de la tectónica de placas, le dan la razón. Hace más de 200 millones de años, la Antártida ocupaba una posición central en el supercontinente de Gondwana. Estaba directamente unida a Africa del Sur, India y Australia. Todas estas placas continentales se fueron separando de ella y emigrando al norte, hasta llegar al emplazamiento que ahora ocupan.









***La Antártida a la deriva.** Bajo el grueso casquete de hielo se esconde un continente del que casi todo está por descubrir. Página anterior: el paisaje del polo austral tal cual es según los geólogos (con sus cadenas de montañas bajo el hielo). En esta página, arriba: el supercontinente de Gondwana como aparecía probablemente en el Mesozoico (era Secundaria). En el centro y abajo: estas plantas fósiles, encontradas en las pendientes rocosas de la bahía de la Esperanza, prueban que la Antártida tuvo en el pasado climas más suaves que en la actualidad, quizá incluso tropicales.*

Barreras y castillos de hielo

La banquisa antártica —es decir, el conjunto de hielos que flotan alrededor de todo el continente— ocupa en invierno una corona de unos 1.000 kilómetros de anchura, y una superficie aproximadamente igual a la mitad del continente mismo (algo así como seis a siete millones de kilómetros cuadrados). En verano, esta banquisa se deshiela, pero el gran continente Austral sigue rodeado de 1.400.000 kilómetros cuadrados de hielos permanentes.

Estos últimos no tienen su origen en el agua de mar, sino en el agua dulce caída sobre el inlandsis en forma de nieve. Se distinguen de los hielos del *pack* por su considerable espesor (unos 30 metros por término medio, y a veces mucho más). Se trata de hecho de glaciares flotantes bajados de tierra: se les llama escudos de hielo, o *iceshelves*. El mayor de los *iceshelf* es el de Ross (530.000 kilómetros cuadrados, algo más que la superficie de España); el Fichner, en el mar de Weddell, mide más de 400.000 kilómetros cuadrados; se puede citar también por sus grandes dimensiones los de Amery, Shakleton, Wilkins, Larsen, etc. Todos los glaciares de la Antártida se deslizan hacia el océano a sorprendente velocidad y «paren» en el mar enormes icebergs. Pero las lenguas heladas que alimentan los *iceshelves* son aún más desmesuradas. Cuando llega al contacto con el agua, el glaciar de Ross mide más de 1.200 metros de espesor.

La banquisa se forma en el mar en cuanto finaliza el verano austral: el agua comienza a helarse como caldo espeso; luego, los primeros carámbanos compactos se aglomeran (son las «galletas» o *pancakes*). A continuación se van uniendo bloques cada vez más gruesos. Cuando el *pack* se ha establecido, mide varios metros de espesor. Naturalmente, el desarrollo y la homogeneidad de la banquisa dependen de numerosos factores climáticos: temperatura atmosférica, corrientes, vientos, etc. Los bordes de las placas, al entrechocar entre sí por efecto del viento y las corrientes, forman rápidamente enormes moles de hielo —los *hummocks*—, que tienen sus volúmenes correspondientes bajo la superficie.

La banquisa en general está muy lejos de constituir una placa uniforme. Eso sólo ocurre en las bahías casi cerradas. En los demás sitios, la dinámica de los fluidos aéreo y oceánico no cesa de remodelar el hielo. A veces, el viento abre largos canales de agua libre, a los que se les da el nombre ruso de *polinias;* muy oportunas para dejar que pasen los barcos, pueden convertirse en una trampa temible cuando se cierran.

Los icebergs, constituidos por hielo de agua dulce, son aquí los «hijos» de los glaciares más grandes del mundo.



Un universo de hielo. *La Antártida merece su nombre de «continente helado»: estos hielos aparecen allí en todas sus formas. El hielo de agua de mar constituye la banquisa en invierno. El inlandsis y sus enormes ríos congelados llegan hasta el océano a verter*

El casquete helado (el inlandsis) de la Antártida abarca aproximadamente el 90 por 100 de toda el agua dulce de nuestro planeta. Las grandes coladas glaciares alcanzan allí una potencia y una velocidad prodigiosas; mientras el más rápido glaciar alpino (el de Bossons, cerca de Chamonix) avanza un metro diario como promedio, los glaciares del continente austral lo hacen de 50 a 100 metros en el mismo tiempo. Y cuando llegan al mar, «dan a luz» auténticas islas de hielo.

Los tres pincipales *iceshelves* (de Ross, de Weddell y de Shakleton) proporcionan la mayoría de los icebergs antárticos. Estos no tienen forma de «castillo» o de «catedral», como los de Groenlandia, sino que son inmensas plataformas flotantes que alcanzan con frecuencia 50 metros de altura por encima del agua, es decir, más de 400 metros de altura total, y una longitud del orden de 500 a 1.000 metros. En 1927, un ballenero creyó haber descubierto una nueva isla antártica, que llamó tierra de Clarence; en realidad, era un iceberg de más de 150 kilómetros de largo. Asimismo, entre los años 1957 y 1958, unos científicos encontraron un iceberg a la deriva «tan grande como el estado de Connecticut». Los icebergs antárticos viajan hacia el norte siguiendo el curso de las corrientes: se encuentran hasta el grado 40 de latitud Sur en los océanos Pacífico e Indico, y hasta los 35° de latitud Sur en el Atlántico. Actualmente, es tan grande la falta de agua en algunos países, que se ha pensado en remolcar icebergs desde la Antártida hasta el hemisferio Norte. A pesar de las pérdidas debidas a la fusión, la operación es ya casi rentable. Quizá este tipo de explotación se haga habitual en los próximos años.

Aunque parezca algo perteneciente al mundo de la fantasía, sería cosa de envolver a los icebergs con una película de plástico para retrasar el deshielo y dotarlos de motores directamente. Estos a su vez podrían ser movidos por la electricidad obtenidas del mar (gradientes de salinidad o de temperatura).







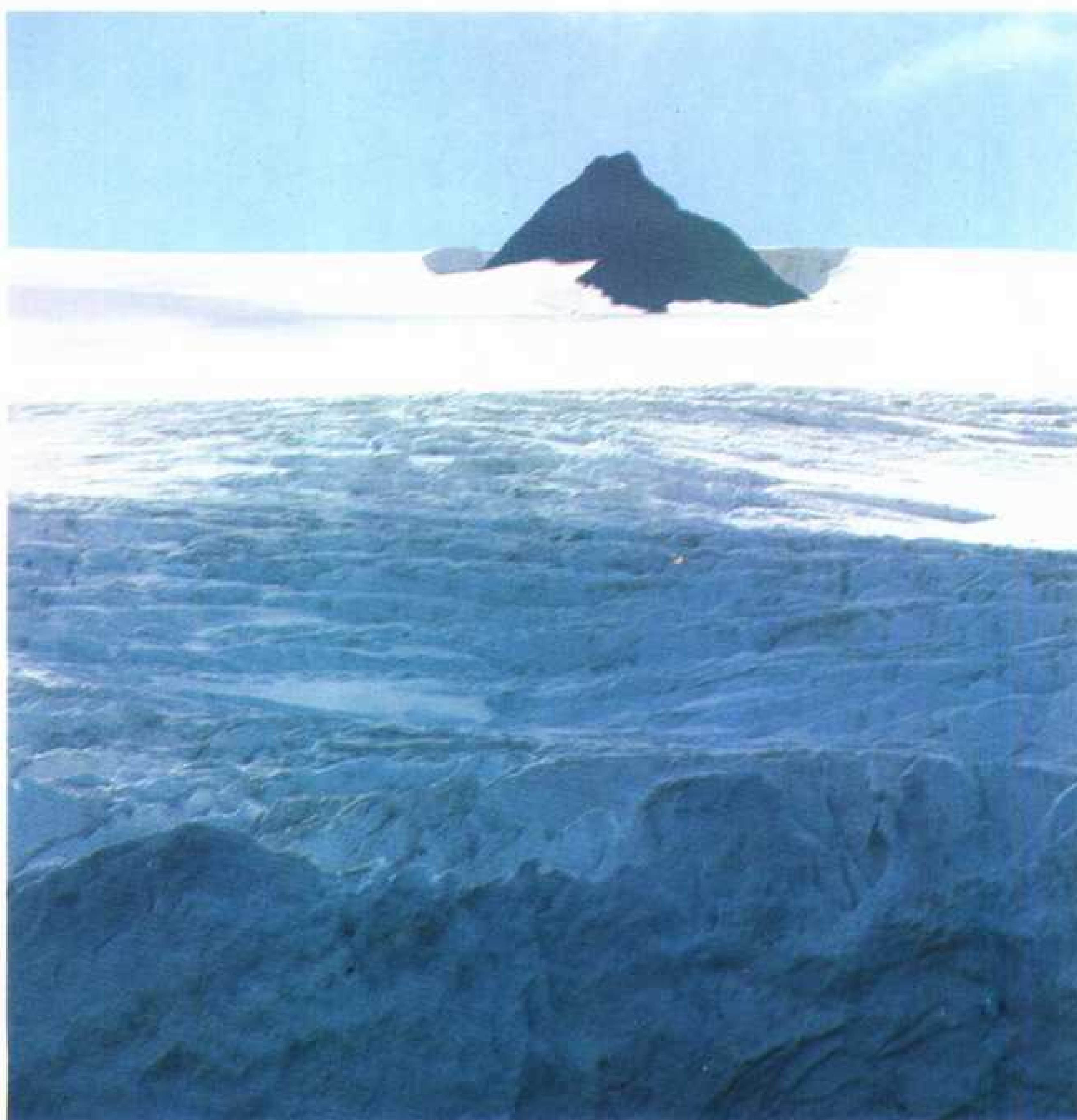
iceshelves *(escudos flotantes) impresionantes. Estos caen al mar formando un frente nítido, que puede tener varias decenas de metros de altura (fotos de la página anterior). En cuanto a la banquisa, tiene de tres a cuatro metros de espesor por término medio.*

La banquisa y los icebergs. *En invierno, la* ***banquisa rodea al continente*** *Antártico con un cinturón helado de 1.000 kilómetros de anchura. En cuanto comienzan los primeros fríos, empieza a «cuajar» en forma de «galletas» o* pancakes *(arriba, a la derecha). Los icebergs, por su parte, están formados por hielo de agua dulce, procedentes de los glaciares. En la Antártida tienen forma tabular, y pueden adquirir dimensiones colosales. Arriba, a la izquierda: un iceberg de 74 kilómetros de largo, 40 de ancho y más de 300 metros de alto (en total), visto desde satélite. Aquí, a la izquierda: la banquisa deshaciéndose en primavera. Algunos icebergs de la Antártida, con varias decenas de kilómetros de longitud, fueron considerados como islas por los primeros marineros que recorrieron aquellos remotos mares.*

En las islas antárticas

LAS islas que se encuentran al sur de la latitud del cabo de Buena Esperanza pueden dividirse en cuatro grupos. Tres de ellos se hallan alejados de las masas continentales: están primeramente las tierras del arco insular de la dorsal de Escocia, que une la península Antártica con el extremo meridional de América del Sur; en segundo lugar, las islas situadas sobre las dorsales oceánicas sísmicamente activas; en tercer lugar, las que en el océano Indico emergen de altas plataformas submarinas. El cuarto grupo está constituido por islas directamente unidas a la plataforma continental antártica.

Las tierras de la dorsal de Escocia tienen un clima muy riguroso debido a su proximidad con el continente austral. Son severos paisajes de hielo y roca. A partir de la península Antártica, y siguiendo un semicírculo cuya convexidad mira hacia el este, se encuentran las Shetland del Sur, las Orcadas del Sur, las Sandwich del Sur y la Georgia del Sur. A pesar de su aspecto «mineral» y desolado, estas tierras acogen numerosas formas de vida;



Vida, a pesar de todo... *Gracias al aporte de sustancias nutritivas debido a las corrientes de la Convergencia, las aguas del océano glacial Antártico son muy abundantes en fitoplancton. El verano, en sí prolífico, fomenta la eclosión del zooplancton (especialmente del krill), lo que explica que la vida pulule. A pesar de su aspecto tan mineral, las* ***islas del Antártico*** *(en estas páginas, la isla del Príncipe Jorge, que* ***forma parte de las Shetland del Sur)*** *no están desprovistas de vegetación, sobre todo de algas, musgos y líquenes (abajo, a la derecha). Incluso logran crecer (aunque con dificultad) algunas plantas de flor.*





en el reino vegetal, sobre todo algas, líquenes y musgos, pero también algunas plantas de flor; en el reino animal, además de multitud de aves (pingüinos de varias especies, petreles, págalos, albatros, palomas antárticas, etc.), los pinnípedos se dan cita allí al hilo de las estaciones para reproducirse (elefantes marinos, focas, otarias). En alta mar pasan los últimos rebaños de ballenas francas negras (que van a aparearse y parir en invierno a las costas argentinas), rorcuales comunes y azules y ballenas jorobadas. En las orillas, los esqueletos de gigantes cetáceos abandonados por los balleneros son mudo testimonio de la gran carnicería que se ha llevado a cabo hasta hace poco.

Entre las tierras situadas sobre la dorsal medio-oceánica activa, hay que citar el archipiélago de Tristán da Cunha. Estas islas, bajo el paralelo meridional 37, están hechas totalmente de rocas volcánicas. Al igual que las Azores e Islandia, se elevan sobre la dorsal medio-atlántica, de la que constituyen un punto emergente. La isla principal se presenta como un cono eruptivo casi perfecto, sin ningún puerto natural, con una playa muy angosta: ¡panorama bastante desolador para los navegantes!... El clima, por el contrario, es clemente: suave y húmedo. Millones de aves marinas (albatros, petreles, cormoranes, gaviotas, charranes, etc.) se agolpan sobre los roquedos costeros, mientras que pequeñas colonias humanas logran mantenerse en ciertos islotes. Las pendientes están tapizadas de vegetación (helechos, gramíneas) y crecen incluso árboles. Los habitantes de Tristán da









Tierras inhóspitas. *Pocas islas del Antártico son acogedoras para el hombre. Estas tierras desoladas contrastan grandemente con la riqueza biológica del mar circundante. Arriba: un pico rocoso emerge entre la bruma, en el archipiélago de las Orcadas del Sur. Aquí, a la izquierda: dos imágenes de la isla de la Decepción; un gran cráter abierto al mar constituye, no obstante otras dificultades, un excelente puerto natural.*

Cunha cultivan lengumbres y patatas abonando sus parcelas con guano. Otras islas o archipiélagos de los mares australes (del sur del Atlántico y del sur del océano Indico) constituyen emergencias de la dorsal volcánica medio-oceánica; por ejemplo, las tierras Gough, Bouvet, Marion, del Príncipe Eduardo, Amsterdam, San Pablo y Macquarie. Todas tienen la misma geología plutónica, y están pobladas de aves marinas y de pinnípedos. En todas estas islas plantean un gran problema ecológico los animales que el hombre ha introducido —voluntaria o involuntariamente—, pues destruyen el ecosistema original, al no tener ningún depredador; a menudo se trata de ratas o de conejos, pero a veces gatos y cabras proliferan también peligrosamente.

Los archipiélagos de las Crozet, de las Kerguelen y de las Heard emergen de dos importantes altiplanicies totalmente asísmicas del océano Indico. Las Kerguelen atrajeron durante siglo y medio a balleneros y cazadores de focas. En la actualidad, estas tierras acogen a científicos franceses que estudian la geología y la oceanografía locales, la meteorología, la glaciología, etcétera.

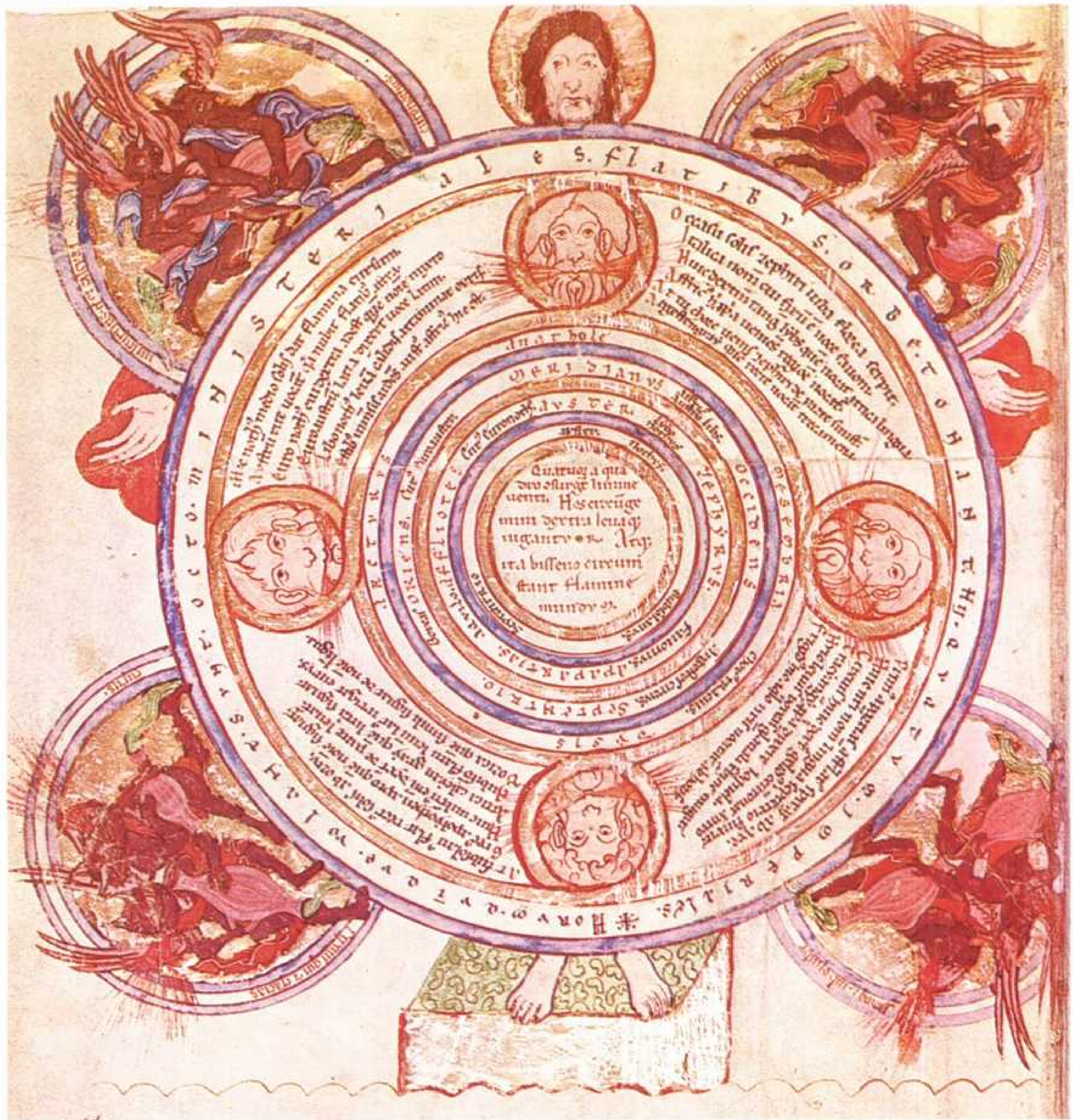
En cuanto a las islas unidas directamente a la plataforma continental de la Antártida (Alexander, Thurston, Beaufort, Franklin, Ross, etc.), presentan las mismas características que su inmensa vecina. Durante toda la estación invernal, la banquisa las une a la Antártida. Sus únicos habitantes regulares son los pingüinos, los págalos, los petreles gigantes, las palomas antárticas y las focas (foca leopardo, foca de Ross, foca de Weddell y la extraordinaria foca cangrejera). **El espectáculo de miles de pingüinos juntos (pingüinos real, emperador o de Adelia, según los casos) maravilla a los escasos científicos que desembarcan en esos confines del mundo. Durante el verano, las últimas ballenas azules se dan verdaderos festines de krill.**



Las corrientes Superficiales



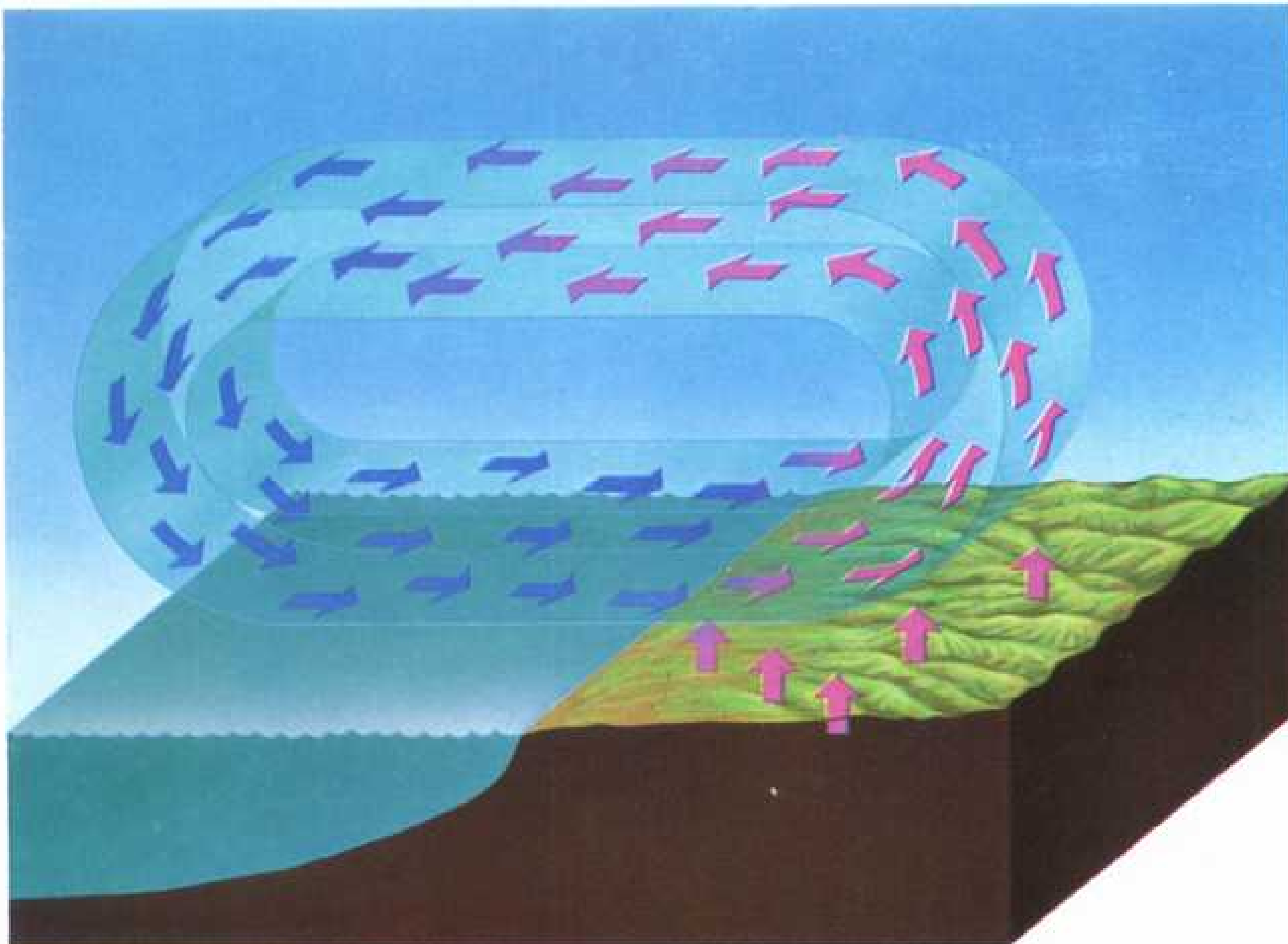
La atmósfera en movimiento

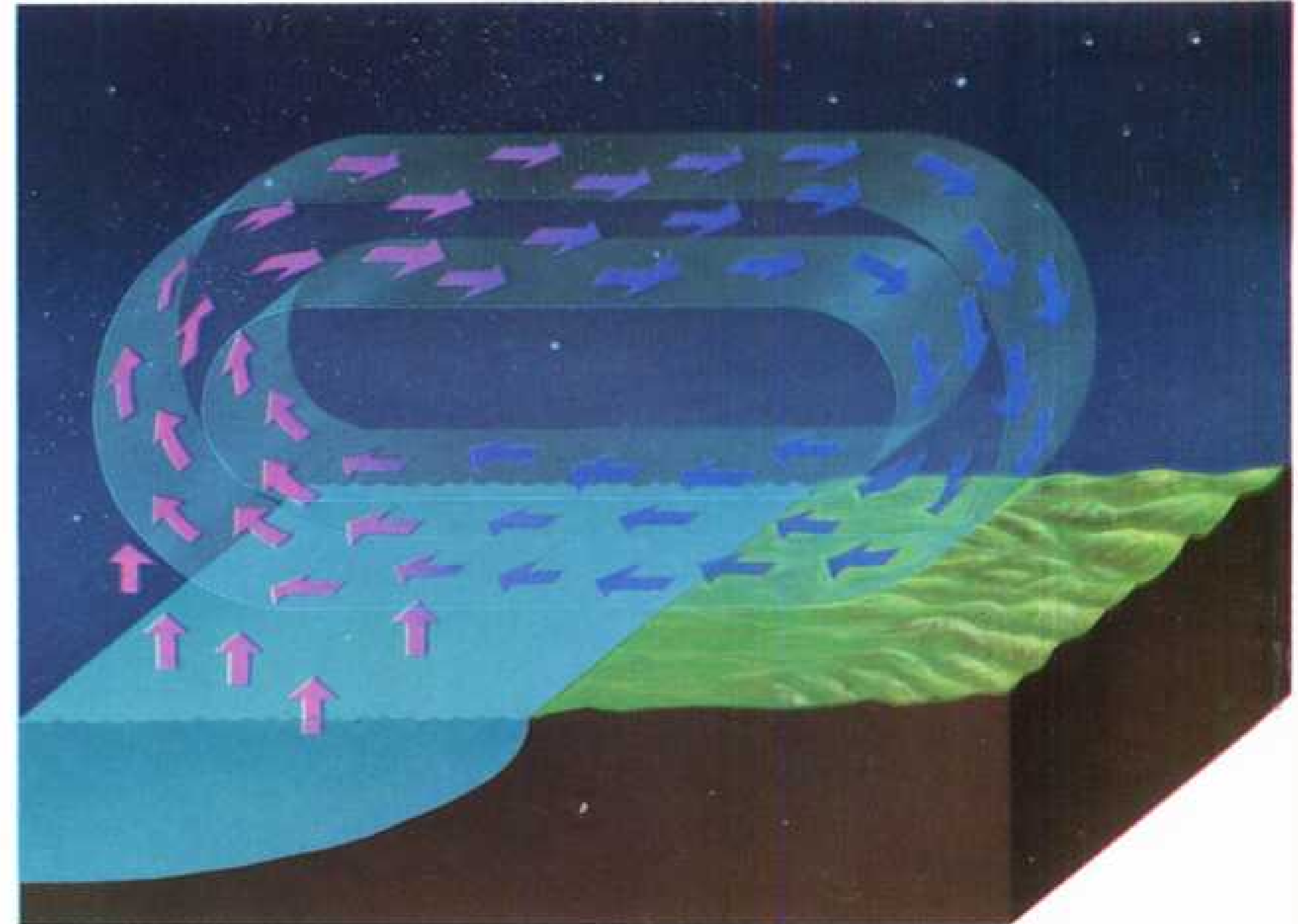


DESDE hace siglos se vienen estudiando los efectos del viento en el mar. **Esta investigación tuvo al principio carácter utilitario. Hasta fines del siglo XIX**, en efecto, el viento constituyó la principal fuerza motriz de los barcos. Hoy día, si la energía eólica vuelve a estar de moda (incluso para la propulsión de grandes barcos), la comprensión de las relaciones entre los movimientos de la atmósfera y los de la hidrosfera afecta a muchos otros campos: meteorología y climatología, pesca industrial, producción de energía eléctrica, etcétera.

Pero, ante todo, ¿cuál es el origen del viento? ¿Y por qué los vientos soplan con bastante regularidad en los mismos filos, de manera que desde muy antiguo fueron utilizados por los navegantes?

Fundamentalmente, el motor de los vientos es el Sol; la energía eólica (mecánica) se deriva de la energía solar (calorífica). El aire caliente tiende a elevarse, ya que, al dilatarse, pierde densidad. Por el contrario, el aire frío permanece en las capas bajas de la atmósfera. Si el sol calienta **más un lugar que otro, el aire caliente** de este lugar, al elevarse, crea una depresión en la cual se precipita el aire frío cercano. Así nace una corriente de aire, un viento. El mito del dios griego Eolo a punto de soplar los vientos es una mala **imagen. Habrá que pensar más bien que**





se trata de un gigantesco aspirador. Las corrientes atmosféricas pueden afectar a áreas más o menos grandes. Algunas son estrictamente locales; otras, por el contrario, interesan a un continente entero, e incluso a todo el planeta. Los vientos locales dependen de ciertos elementos geográficos o topográficos, como la presencia de un brazo de mar, de un lago o de un pasillo entre dos cadenas de montañas. Los más regulares entre los vientos locales son las brisas de tierra y de mar; bajo los rayos del sol, el agua se calienta con menos rapidez que la tierra firme (su poder calorífico es mucho mayor): durante el día, la brisa sopla del mar hacia la tierra (brisa marina). Pero el agua pierde también sus calorías con menor rapidez que la tierra. Esto explica que, por la noche, la corriente de aire sople de tierra hacia el mar (brisa terrestre). Este movimiento incesante, que tiene por efecto equilibrar las temperaturas, se llama «corriente de convección».

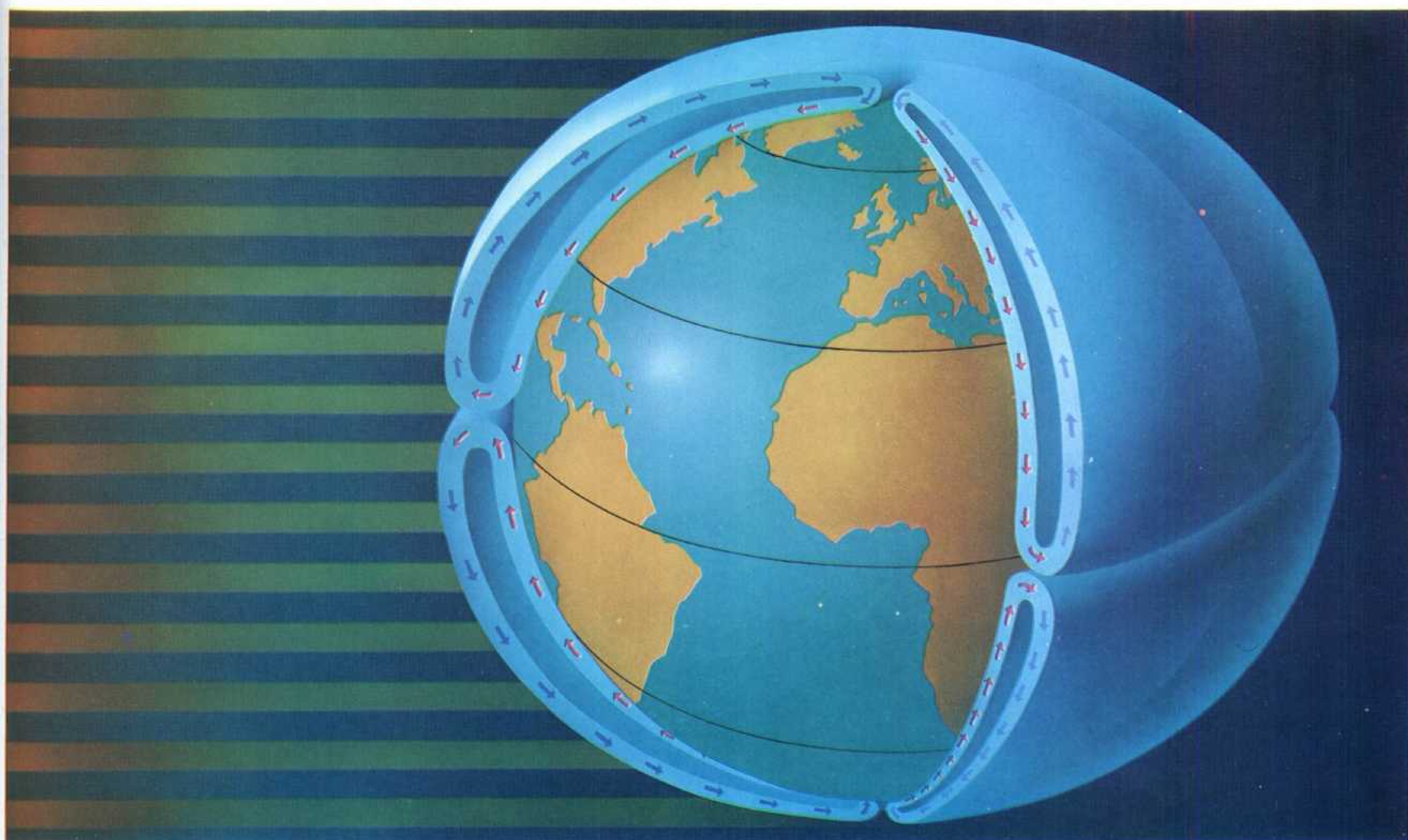
A escala planetaria se asiste a un fenómeno análogo. En las regiones ecuatoriales, la atmósfera se calienta con mayor rapidez que en las zonas templadas y polares: los vientos soplan desde los polos **hacia el ecuador. Se establece en la altura una corriente inversa,** que equilibra las temperaturas y las presiones. Si el eje de la Tierra no estuviera inclinado en 23°



Las masas de aire en movimiento. *Los vientos han interesado desde siempre a los hombres, en especial a los del campo (para prever el tiempo) y a los marinos. En la página anterior, arriba: una tabla de los vientos en un manuscrito del siglo X. En la actualidad se interpreta la formación de las corrientes atmosféricas como un caso particular de las corrientes de convección.* ***Los esquemas de la página anterior muestran el proceso de desencadenamiento de la brisa marina diurna (izquierda) y de la brisa terrestre nocturna (a la derecha). En esta página, arriba: el viento y el deporte de las regatas. Abajo: un esquema general simplificado de las convecciones atmosféricas terrestres.***

27' con relación a la vertical del plano de la eclíptica, la circulación atmosférica sería tan simple como la que concierne al régimen de las brisas terrestre y marina. Pero, por esta inclinación, los procesos se complican enormemente.

Y hay que tener en cuenta otro elemento: la velocidad de rotación de la Tierra alcanza el máximo en el ecuador y se reduce a medida que se aproxima a los polos, donde se hace nula. De ello resulta una fuerza, llamada de Coriolis, que tiende a hacer girar en sentido contrario a las agujas del reloj (en el hemisferio Norte) los fluidos en movimiento en la superficie de nuestro planeta. En el hemisferio Sur giran, por el contrario, en el sentido de las agujas del reloj.



Un océano de aire

EXAMINEMOS con más detalle las modalidades de la circulación atmosférica en el hemisferio Norte. (Estas consideraciones valen para el hemisferio Sur, con tal que se inviertan los sentidos de rotación, pues la deflexión debida a la fuerza de Coriolis está invertida.)

En el ecuador, el aire (rápidamente calentado por la irradiación solar) se eleva hasta unos 10 ó 12 kilómetros de altitud, donde empieza a enfriarse al viajar hacia el norte. Deja bajo él una zona en la que el fluido que le sustituye se calienta también rápidamente. Esta región es la que los marinos conocen como zona de las calmas ecuatoriales. Al dirigirse hacia el norte, el aire caliente es desviado hacia el este por la fuerza de Coriolis, a la que debe además que se arremoline girando en sentido contrario a las agujas del reloj. Este aire se acumula entre los 25 y 35 grados de latitud Norte, creando una región de altas presiones llamada zona de anticiclones. Aquí, las masas aéreas constituidas se separan en dos, y vuelven a descender hacia la superficie de la Tierra. Una parte se desliza hacia el sur. Pronto es desviada por la fuerza de Coriolis, y se convierte en lo que se llaman los alisios del nordeste. La otra, que va hacia el

La circulación atmosférica global. *Abajo: un esquema teórico (y simplificado) del sistema de los vientos planetarios; las flechas en rosa corresponden a masas de aire caliente; las azules, a masas de aire frío. La circulación atmosférica terrestre depende en realidad de numerosos factores (distribución de las tierras y los mares, cadenas de montañas, etc.). A gran altura, las corrientes en chorro,* ***muy energéticas,*** *contribuyen poderosamente al equilibrio de los intercambios (esquema de la derecha, en la página siguiente). En la misma página, abajo: una corriente en chorro fotografiada desde satélite, sobre Egipto, el mar Rojo y Arabia Saudí.*





norte, es igualmente desviada por la fuerza de Coriolis, convirtiéndose así en los vientos dominantes del oeste en las regiones templadas.

Cerca de los polos, el aire muy frío desciende. Al llegar junto a la superficie se desliza hacia el sur, siendo a su vez desviado por la fuerza de Coriolis. De esta manera se constituyen los vientos polares del este, que se arremolinan girando en el sentido de las aguas del reloj. Las regiones situadas en el punto de encuentro de los vientos dominantes del oeste y de los vientos polares del este se caracterizan por su constante mal tiempo y por sus tempestades. En efecto, las masas aéreas templadas procedentes del oeste están cargadas de humedad; cuando pasan por encima de las masas polares frías dan lugar a importantes precipitaciones, acompañadas de violentas perturbaciones de la atmósfera.

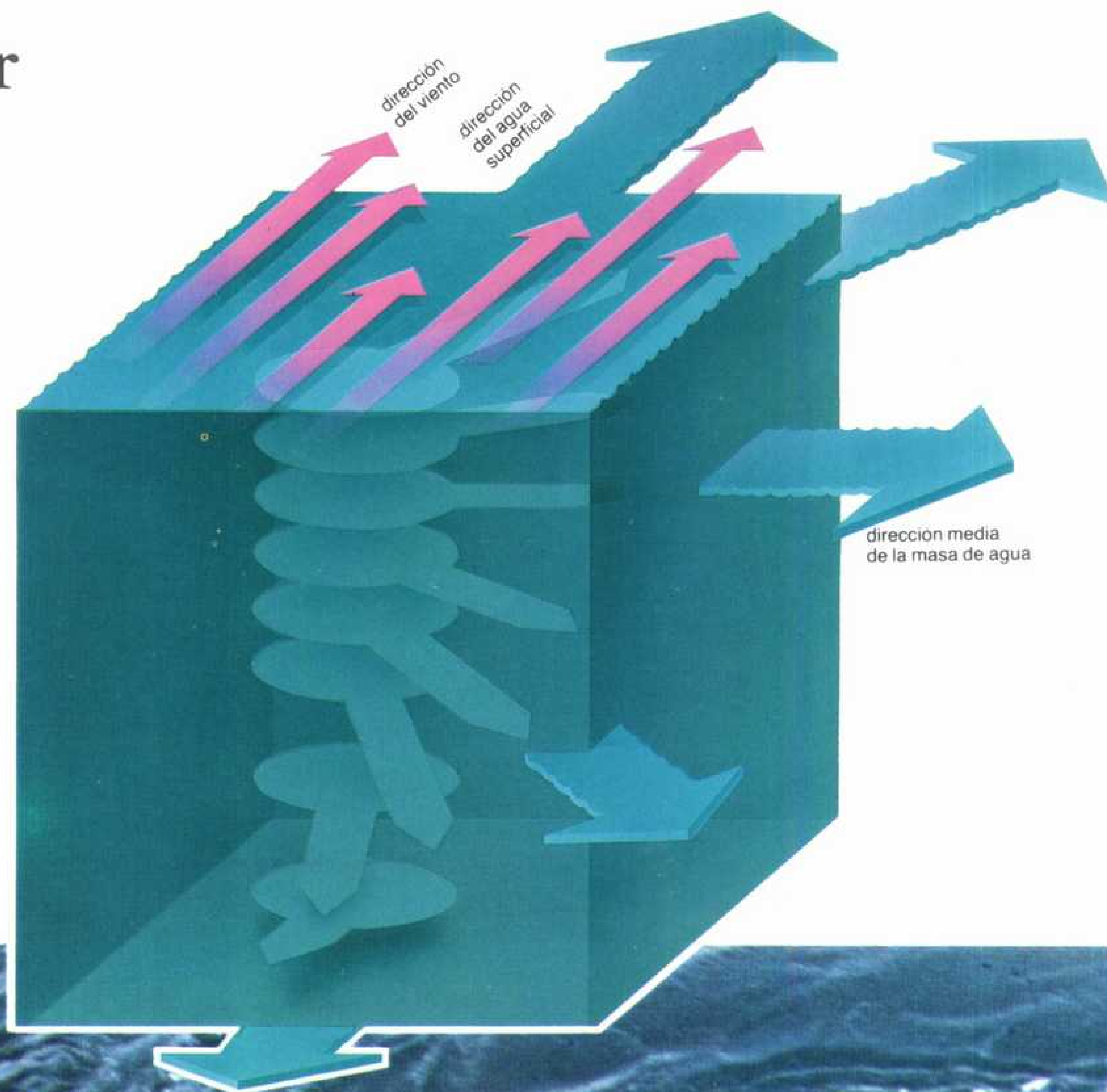
Naturalmente, este esquema es simplista, comparado con la extrema complejidad de los fenómenos. La configuración de las cuencas oceánicas y de las tierras emergidas perturba la regularidad de los deslizamientos atmosféricos. En la alta atmósfera, los vientos del oeste tienden a unir su flujo en haces muy finos y muy rápidos llamados «corrientes en chorro» *(jet-streams)*. Estas corrientes juegan un papel importante en el restablecimiento del equilibrio final de las temperaturas y de las presiones. En efecto, puesto que son altamente energéticas, aceleran los intercambios mecánicos y térmicos de la atmósfera.



El viento y el mar

CUANDO el viento sopla sobre el mar, ejerce una fricción que da origen a una sucesión de ondas. Estas no solamente forman el oleaje y las olas, sino que afectan a todo el estrato superior líquido. De este modo se ponen en movimiento grandes masas de agua: son las corrientes, sometidas ellas también, evidentemente, a la acción de la fuerza de Coriolis. En los mares, la circulación superficial es esencialmente producto de esta mecánica.

Podemos imaginarnos una columna de agua como un apilamiento de discos relativamente independientes entre sí por efecto de las diferencias de temperaturas, de densidades y de salinidades. Cuando sopla el viento, el disco se pone en movimiento, desviándose a la derecha (en el hemisferio Norte) por la fuerza de Coriolis. Cuando este disco se mueve, roza al disco inferior y lo arrastra a su vez. Este segundo disco se mueve con menos rapi-



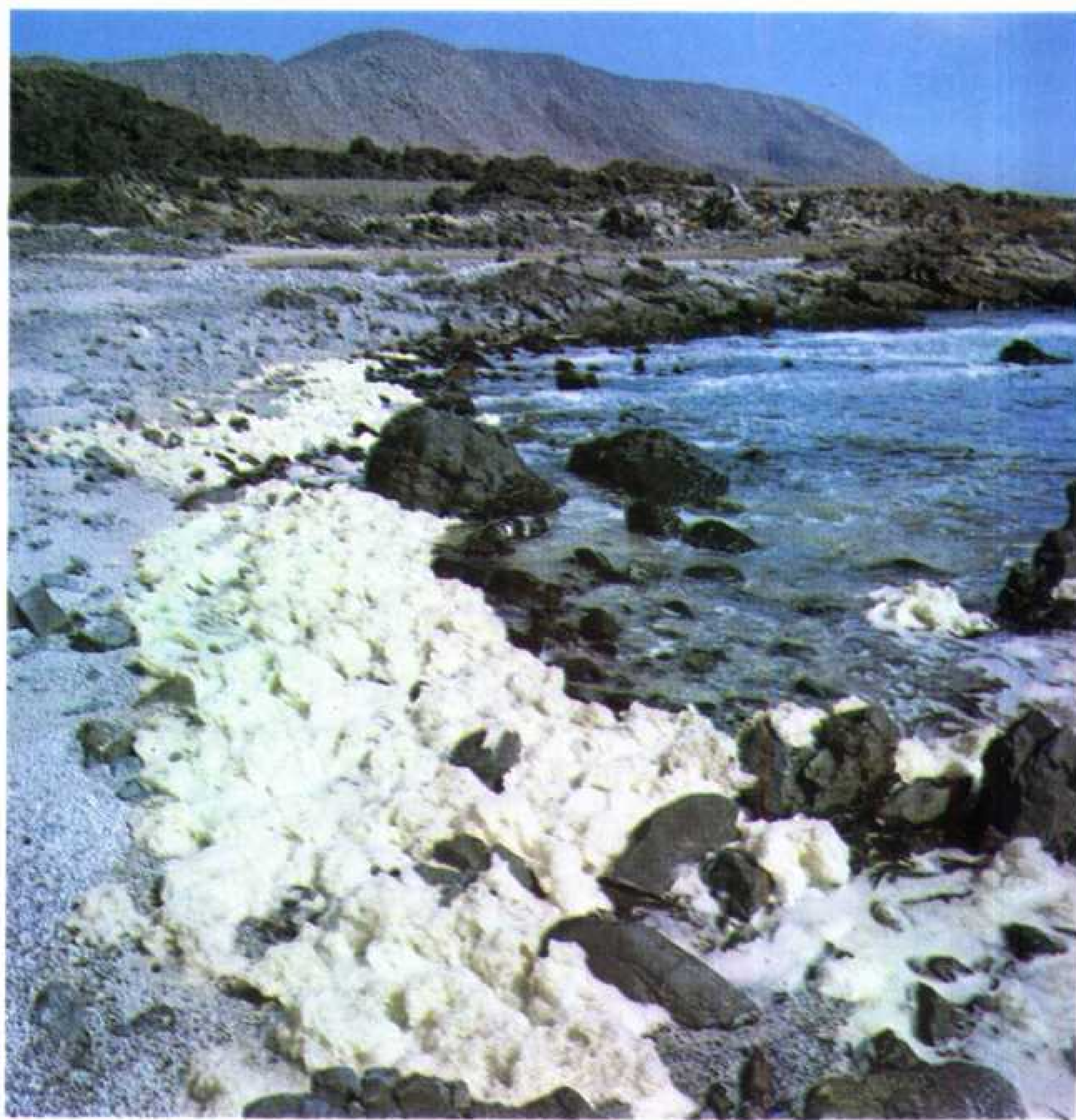
dez que el primero y experimenta una nueva inflexión hacia la derecha, y así sucesivamente. El movimiento se transmite de arriba abajo hasta que se amortigua por completo, lo que ocurre a los 100 metros de profundidad, aproximadamente, al nivel de lo que se llama el «estrato de Ekman». La espiral formada por los discos de agua desviados por la fuerza de Coriolis se llama igualmente «espiral de Ekman». El sentido medio de desplazamiento de la corriente, llamado «transporte de Ekman», corresponde al filo del viento, pero con una importante desviación a la derecha (la desviación se efectúa evidentemente a la izquierda en el hemisferio austral).

El proceso de formación de las corrientes, que acabamos de describir brevemente, es en realidad mucho más complejo. Entran en juego también la densidad de las aguas, la topografía de los fondos, la regularidad misma de los vientos, etc. Sin embargo, este esquema general permite comprender a grandes rasgos la mecánica de la hidrosfera. En especial, ofrece la posibilidad de explicar el fenómeno de la ascensión de las aguas profundas, que los oceanógrafos llaman también «bombeo de Ekman». En las regiones próximas a la costa occidental de los continentes, y donde soplan vientos regulares paralelos a la orilla (del norte en el hemisferio Norte, y del sur en el hemisferio Sur), se forma una «espiral de Ekman» cuya dirección general de desplazamiento va hacia el oeste. Es como si una masa de agua, al abandonar los parajes del continente, dejara allí un «agujero». Agujero que, naturalmente, es llenado de inmediato por las aguas procedentes de las profundidades.

Las aguas profundas, más frías, son también más ricas en sustancias minerales disueltas. Estas últimas, al llegar a la superficie, permiten una eclosión de la vida planctónica y, consiguientemente, un aumento general de la biomasa. Los bancos de moluscos y de crustáceos sustentan así a gran cantidad de peces. Las zonas de ascensión de las aguas profundas constituyen auténticos paraísos para la pesca. Una de las más productivas se localiza frente a las costas del Perú, donde los miles de millones de anchovetas existentes han hecho que este país se haya convertido (con tal de que no sobreexplote sus recursos) en el primero del mundo por el tonelaje de capturas.

Esta abundancia de plancton y de peces es también un maná para las aves. Por esta razón, desde tiempos inmemoriales, las costas y pequeñas islas de esta zona han acogido a miles de aves acuáticas, fuente del guano, que constituye uno de los mejores abonos que existen, aunque ya ha descendido mucho debido al excesivo ritmo que se mantiene en su extracción.





Las corrientes de deriva. *Los vientos son los motores de las corrientes superficiales, llamadas también corrientes de deriva. El esquema de la página anterior, arriba, muestra la «espiral de Ekman», representación teórica que hace comprender cómo la fricción del aire arrastra progresivamente a los discos de agua, desviados uno tras otro por la fuerza de Coriolis. El efecto directo de esta última puede observarse en los remolinos. El que muestra la fotografía de la izquierda gira en sentido contrario a las agujas del reloj, y se origina, por tanto, en el hemisferio Norte: Arriba: depósitos de plancton en la costa de Chile, que la corriente de Humboldt enriquece (esta corriente procede del Antártico).*

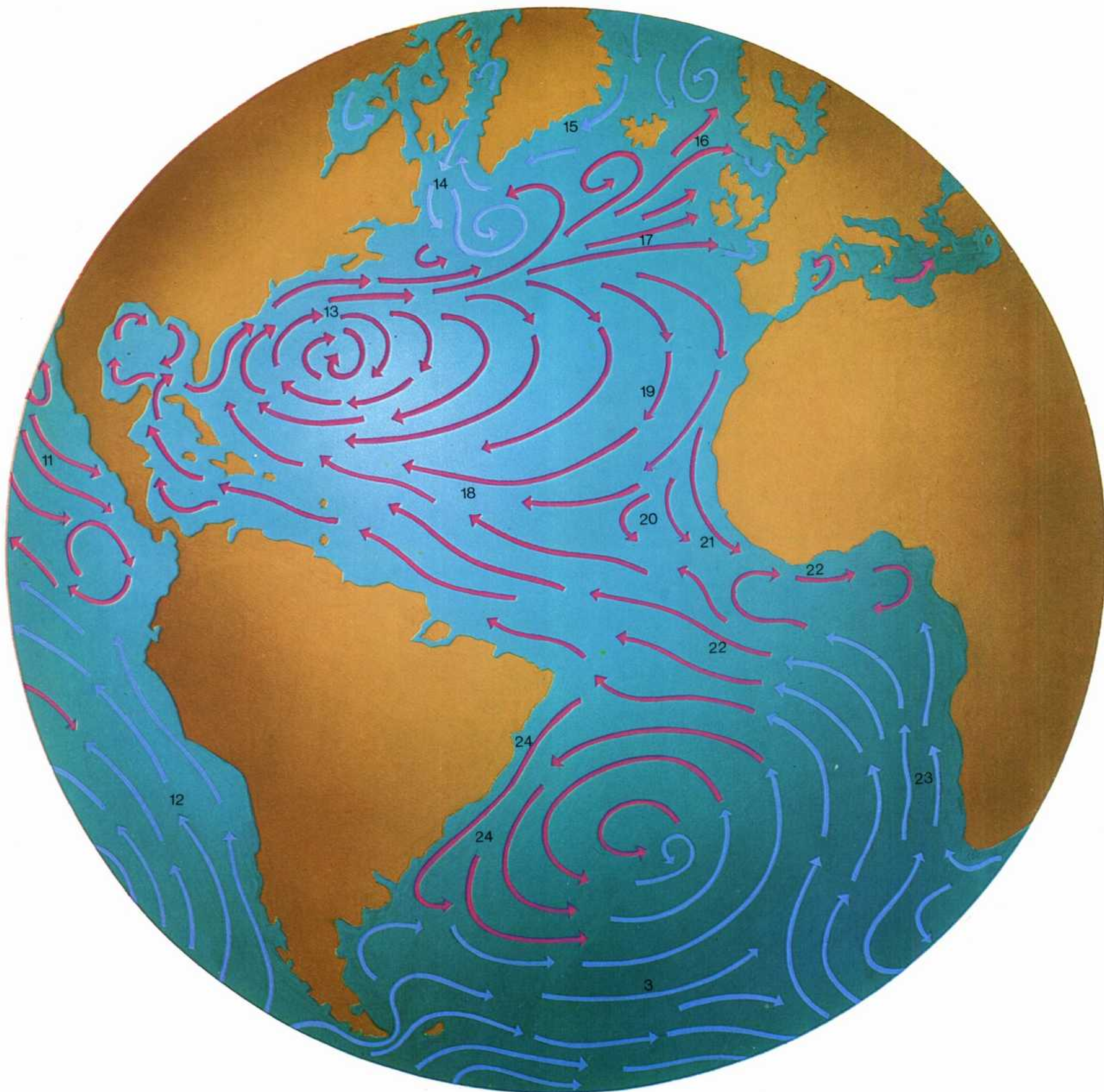
Ríos en el mar

AUNQUE sea aproximada, la imagen de las corrientes marinas como «ríos del mar» evoca la complejidad del sistema. La velocidad de las corrientes superficiales se mantiene generalmente baja, pero las más importantes (corriente Circumpolar Antártica, corriente del Golfo o Gulf Stream, Kuro-Shivo, etc.) **alcanzan casi cuatro nudos.**

El caudal de los «ríos del mar» puede ser formidable: 200 millones de metros cúbicos por segundos para la corriente Circumpolar Antártica, 80 millones para la corriente del Golfo, 50 millones para el Kuro-Shivo (el Amazonas en crecida lleva menos de 150.000 metros cúbicos).

Semejantes masas acuáticas no pueden **por menos que tener una influencia determinante** en los climas locales. La corriente del Labrador, procedente del océano glacial Artico, enfría el este de Norteamérica, mientras que la corriente del Golfo suaviza las temperaturas invernales de la Europa atlántica. Las corrientes desempeñan también un papel importante en la distribución de las sustancias nutritivas. De su confluencia depende la multiplicación del plancton, base de toda la pirámide alimentaria acuática.

Hablando en general, la gran circulación superficial oceánica se organiza de forma idéntica en los dos grandes océanos. Tanto al norte como al sur de ambos, una corriente ecuatorial discurre hacia el oeste, mientras otra corriente contraecuatorial va en sentido inverso. Las corrientes norte y sudecuatoriales tuercen al subir hacia las regiones templadas, y luego se orientan al este, atravesando el océano (corriente del Golfo en el Atlántico Norte; del Brasil en el Atlántico Sur; Kuro-Shivo en el Pacífico Norte; corriente de Australia en el Pacífico Sur). Las aguas frías «descienden» desde el océano glacial Artico por el este de América del Norte (corriente del Labrador) y por el este de Asia (Oya Shivo). Y «suben» desde el océano glacial Antártico por el oeste de América del Sur (corriente de Humboldt) y por el oeste de Africa (corriente de Benguela).



1 *corriente de Bengala.*
2 *corriente de Australia*
3 *corriente de deriva Antártica*
4 *corriente sudecuatorial Pacífica*
5 *contracorriente ecuatorial Pacífica*
6 *corriente norecuatorial Pacífica*
7 *Kuro-Shivo (en sentido estricto)*
8 *Oya Shivo*
9 *corriente del Pacífico Norte (Kuro-Shivo en sentido amplio)*
10 *corriente de Alaska*
11 *corriente de California*
12 *corriente de Humboldt*
13 *corriente del Golfo (Gulf Stream)*
14 *corriente del Labrador*
15 *corriente del este de Groenlandia*
16 *corriente de Noruega*
17 *corriente del Atlántico Norte (Gulf Stream)*
18 *corriente norecuatorial Atlántica*
19 *corriente de las Canarias*
20 *contracorriente ecuatorial Atlántica*
21 *corriente de Guinea*
22 *corriente sudecuatorial Atlántica*
23 *corriente de Benguela*
24 *corriente del Brasil*

CORRIENTES	VELOCIDAD MAXIMA (centímetros por segundo)	VELOCIDAD MEDIA (centímetros por segundo)	CAUDAL (millones de metros cúbicos por segundo)
corriente del Golfo (Gulf Stream)	300	100	80
corriente Kuro-Shivo	300	90	50
corriente de Florida	250	75	25
corriente de Humboldt	100	-	20
deriva occidental Antártica	50	-	200
deriva oriental Antártica	150	-	-
corrientes norte y sudecuatoriales	125	35	45
contracorriente ecuatorial Pacífica	150	-	40



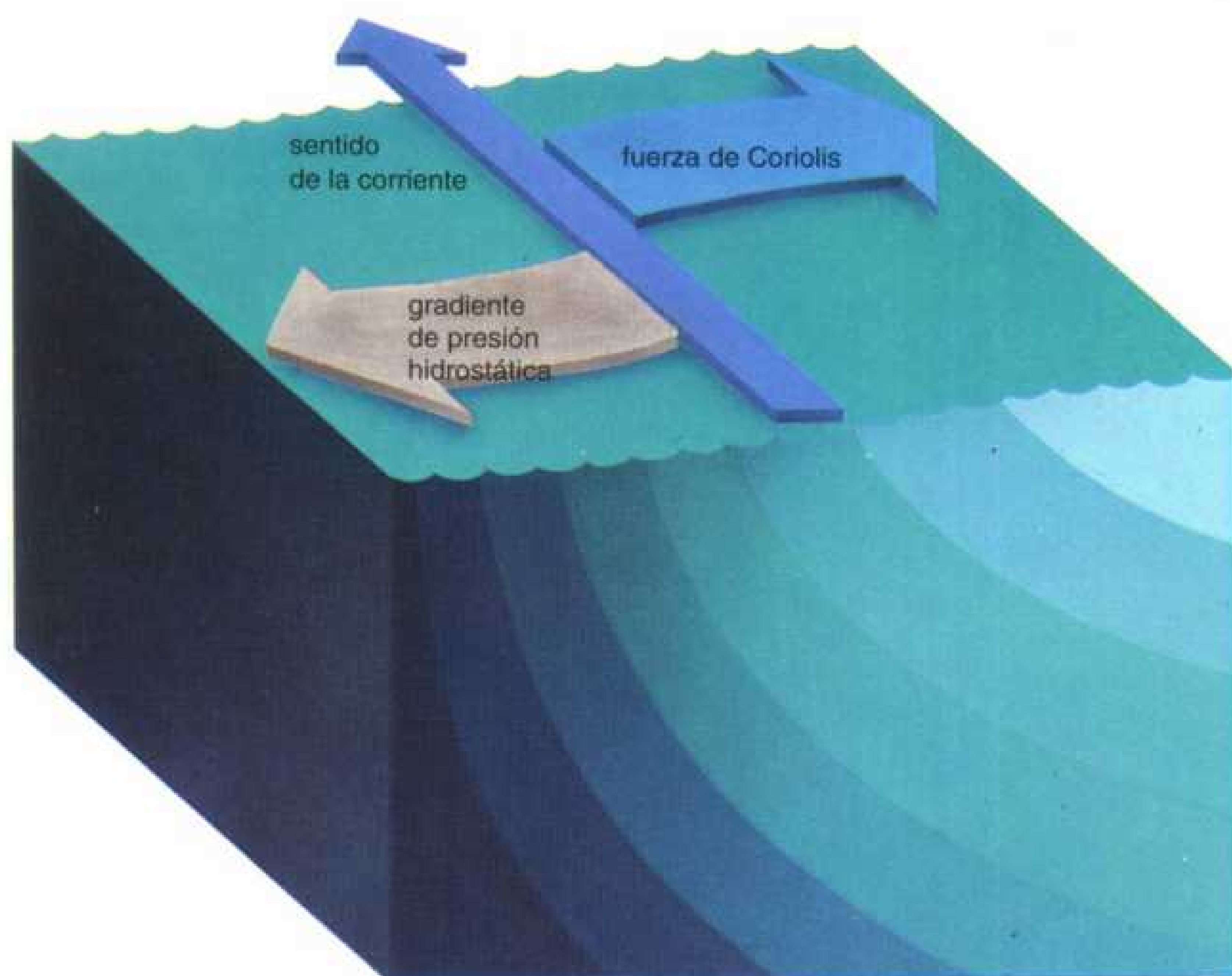
La circulación general. *La circulación general de las aguas superficiales del globo muestra claramente las relaciones existentes entre los vientos y los grandes movimientos del mar (teniendo en cuenta los efectos de la fuerza de Coriolis). El Atlántico y el Pacífico tienen sistemas de corrientes muy semejantes. Ambos, por otra parte, poseen una circulación idéntica, pero simétrica, con relación al ecuador, en la cuenca septentrional y en la meridional. Los intercambios entre las aguas frías (flechas azules) y las aguas cálidas (flechas rojas) permiten restablecer el equilibrio termodinámico permanente del conjunto hidrosfera-atmósfera. De origen ecuatorial o polar, las grandes corrientes tienen un efecto importante sobre el clima de las porciones de continente que bañan. A la templada corriente del Golfo deben Irlanda y Gran Bretaña sus inviernos suaves. Por el contrario, justo debajo del ecuador, en las islas Galápagos, vive una especie de pingüino, porque son bañadas por la corriente (fría) de Humboldt.*

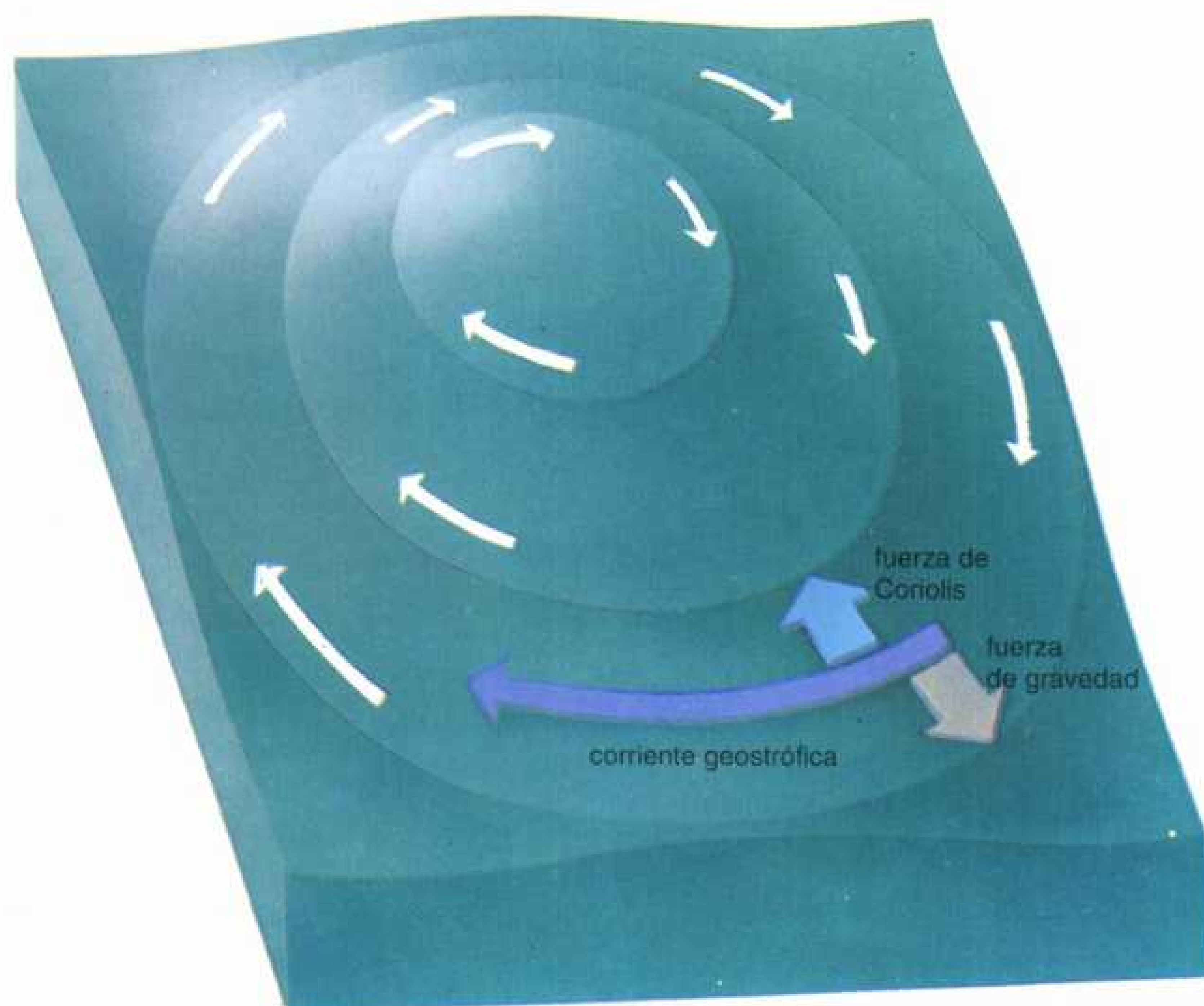
Las aguas inmóviles

CUANDO una corriente se cierra en anillo, se puede comparar la superficie de sus aguas a una corona de altas presiones, de forma más o menos circular. Esto sucede cuando dos fuerzas contradictorias se equilibran: por una parte, la fuerza de Coriolis, que tiende a desviar la corriente hacia la derecha y, por otra, la fuerza de gravedad, que nace del «deslizamiento de Ekman» y que actúa en sentido inverso. La física de este fenómeno es compleja. Los especialistas en hidrodinámica no pretenden haberla traducido todavía a ecuaciones. Pero el resultado se puede comprobar en distintos puntos del océano: existen dos «anillos» de corrientes, que delimitan áreas de agua inmóvil (o por lo menos muy encalmada). Se conocen muchas de reducido tamaño. Las mayores están constituidas por la corriente del Brasil, el Kuro-Shivo y, sobre todo, la corriente del Golfo (Gulf Stream).

Esta última, al formar un anillo en el Atlántico noroccidental, crea allí una zona de calma que, desde Cristóbal Colón, ha fascinado a todos los navegantes: el mar de los Sargazos. Los sargazos *(Sargassum)* son pequeñas algas pardas flotantes. Se encuentran en tanta cantidad en el mar que lleva su nombre, que Colón creyó que había tierra cerca cuando las vio, y son muchas las leyendas surgidas en torno a este mar. (¡Se decía incluso que se podía andar por encima sin hundirse!) Los sargazos constituyen la base alimentaria y el refugio de una fauna abundante y diversa (moluscos, crustáceos, peces...). Bajo ellos, y a unos 600-800 metros de profundidad, las anguilas acuden a reproducirse, tras viajar varios miles de kilómetros desde la desembocadura de los ríos.

Otras regiones del océano mundial están, si no inmóviles, sí muy poco agitadas. Tal ocurre, por ejemplo, con la zona llamada «de las calmas chichas» o de las calmas ecuatoriales, donde la ausencia de viento



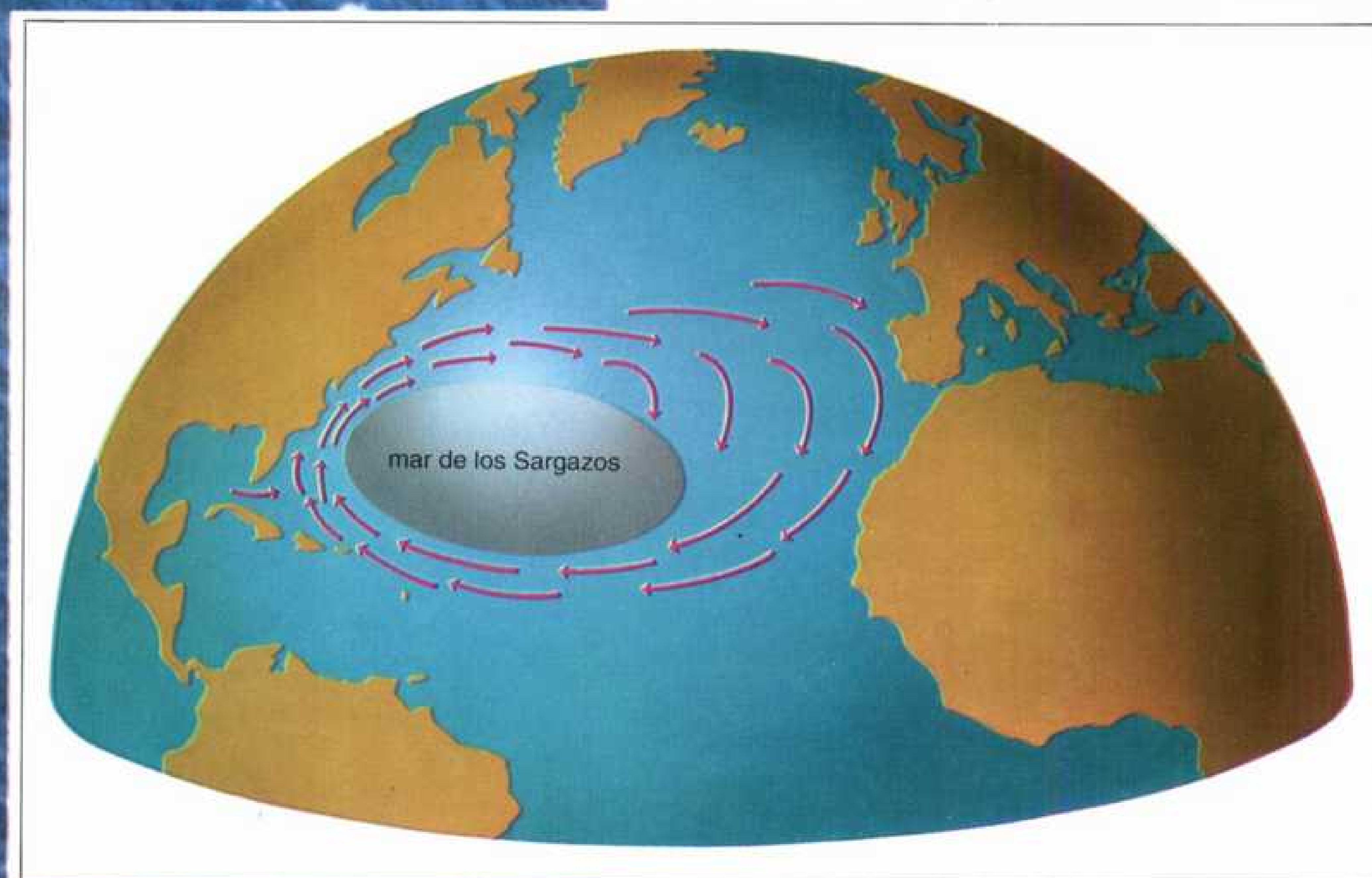


Masas de agua en movimiento. *Resulta difícil la dinámica de las corrientes. Entre los factores predominantes hay que citar el régimen de vientos, la fuerza de Coriolis, los gradientes de presión hidrostática, la topografía de los fondos, etc. Los gradientes de presión hidrostática se deben a las diferencias de densidades entre las masas de agua cercanas, causadas a su vez por diferencias de temperatura y de salinidad (esquema al lado, arriba; las aguas más densas son de un azul más oscuro). Las corrientes circulares (esquema de la izquierda, abajo) surgen cuando se equilibran la fuerza de Coriolis y la de gravedad. En el centro de estos anillos, la mar está en calma, casi inmóvil. Esto ocurre especialmente en el mar de los Sargazos, en pleno Atlántico. Aquí, a la derecha: fotografía y mapa. Arriba, a la derecha: sargazos y un pez herbívoro. Abajo, a la derecha: sargazos y un cangrejo.*



(tan temida por los navegantes a vela) puede durar semanas enteras. La mar, como balsa de aceite, parece muerta, aplastada por el calor.
Los débiles vientos del este que soplan periódicamente en estas regiones bastan para desencadenar las lentas corrientes norte y sudecuatorial, las cuales consiguen acelerarse de forma gradual a medida que en su camino van avanzando hacia el Oeste.

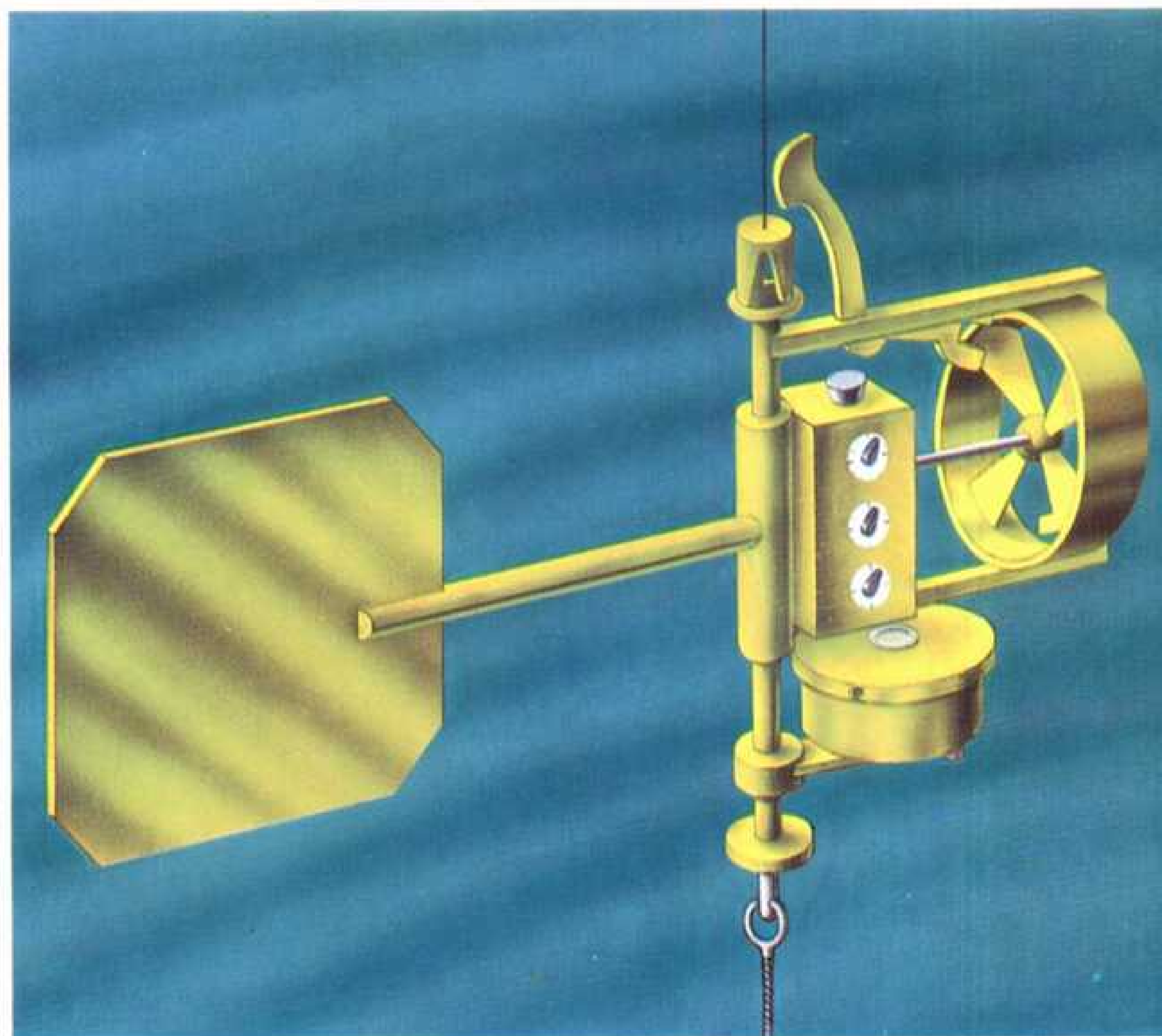


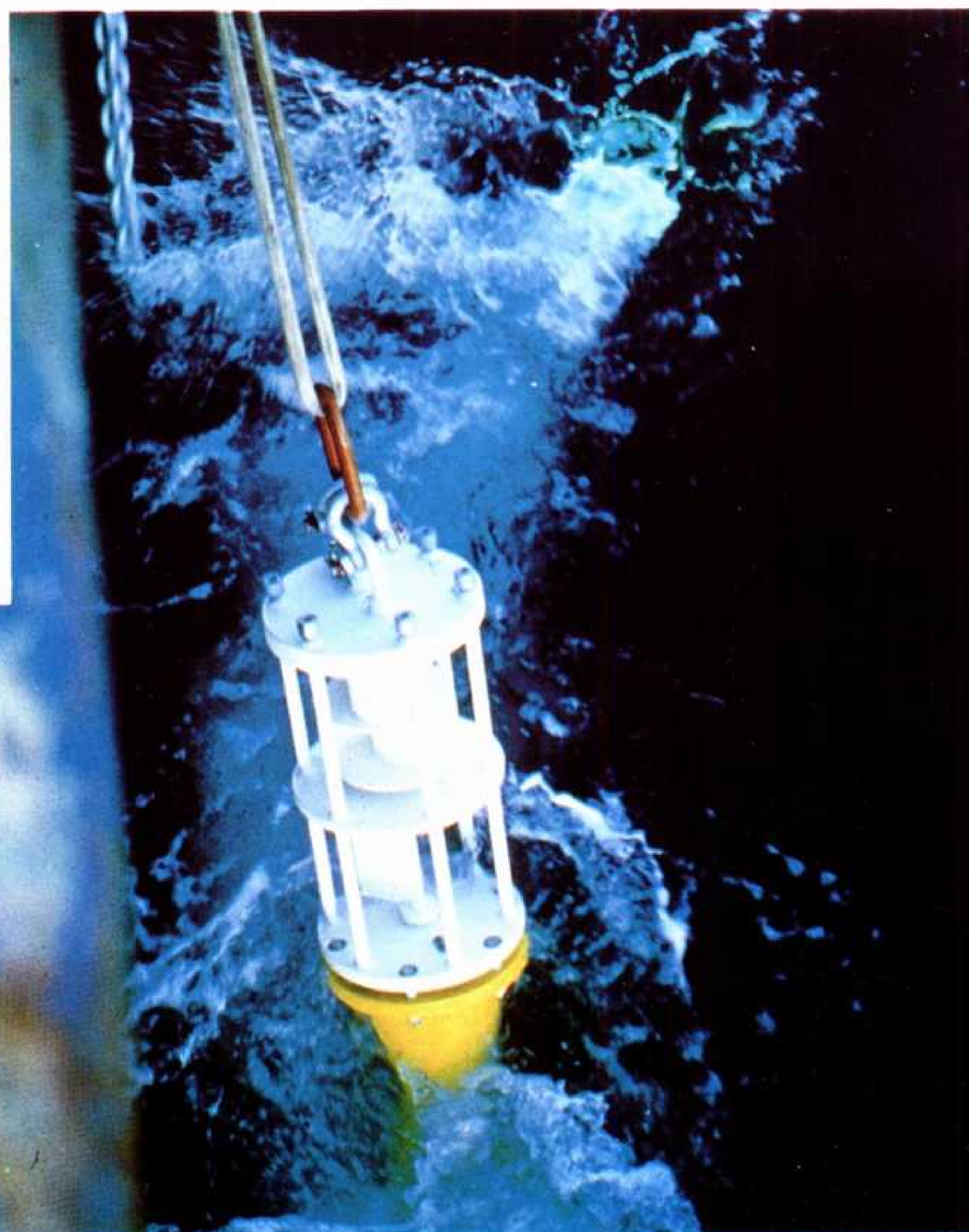




La velocidad de las corrientes







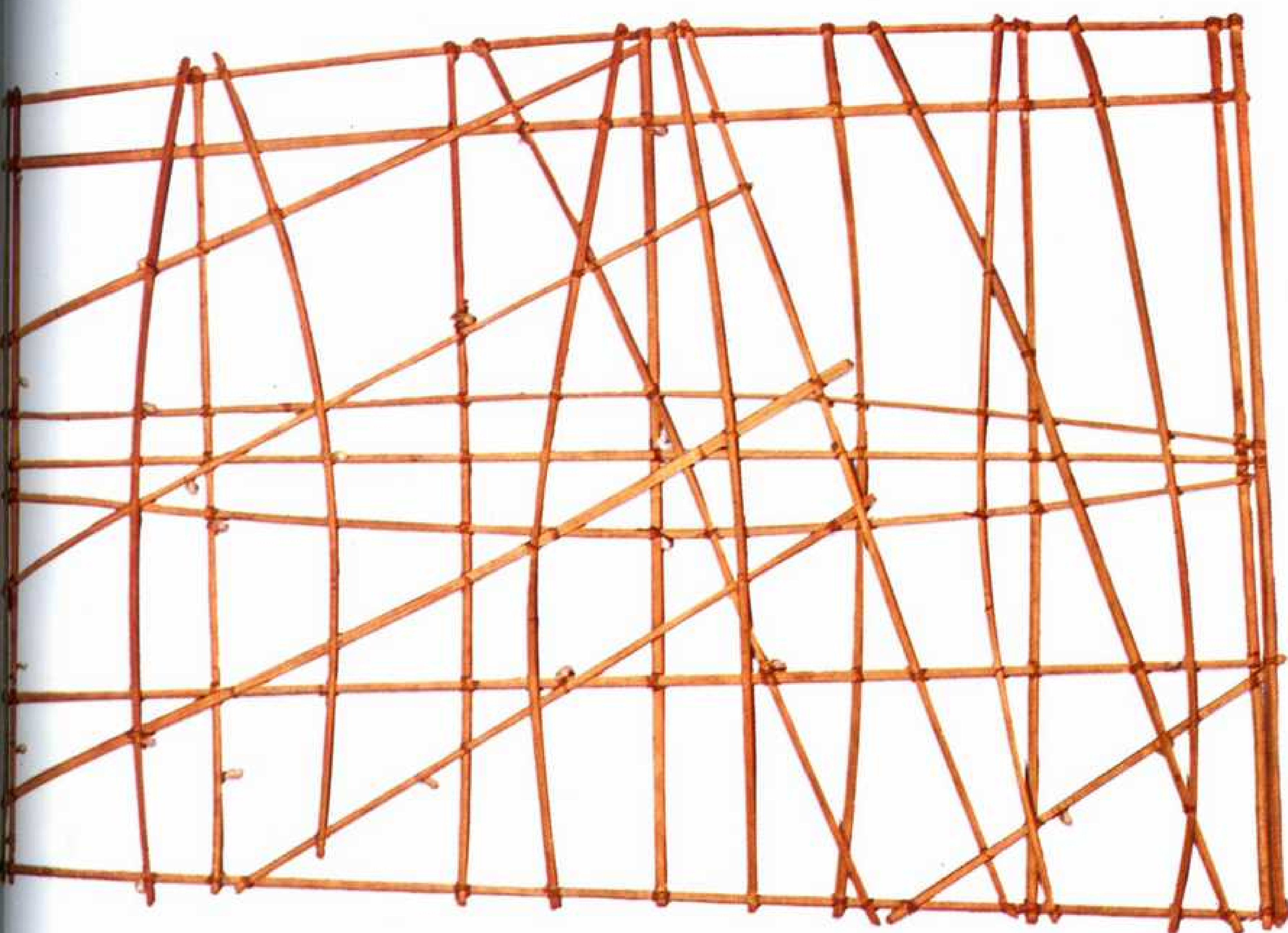
EXISTEN varias formas de medir la velocidad de las corrientes superficiales a mar abierto. Se la puede calcular observando la deriva con un objeto flotante (baliza, etc.). Pero lo más eficaz es utilizar un aparato especialmente graduado para esta tarea y que se llama correntómetro. Este indica no sólo la velocidad, sino también la dirección exacta de la corriente.

Algunos correntómetros tienen que ser anclados al fondo; indican el sentido de la corriente con relación a la vertical, mientras «calculan» su velocidad. Otros aparatos llevan incorporado un rotor, que hace girar el agua en movimiento, el cual está unido a un tacómetro.

Aunque sea antiguo, el método de «botellas a la mar» sigue siendo utilizado por los oceanógrafos. Arrojados desde un barco, los recipientes son recogidos un poco al azar en las playas o en las redes de los pescadores, proporcionando a poco costo datos muy valiosos sobre el itinerario, a veces caprichoso, de corrientes todavía poco conocidas. (El tiempo entre la fecha en que se arrojó al mar la botella y su fecha de recuperación, teniendo en cuenta la distancia recorrida, da una idea de la velocidad de desplazamiento de la masa acuática.)

Naturalmente, en la actualidad, los oceanógrafos utilizan toda una panoplia de instrumentos de detección y de medida. Sumergen pequeños laboratorios auto-

Cómo se miden las corrientes. *Los métodos para determinar la velocidad y dirección de las corrientes se dividen en dos grandes categorías: o se observa la deriva de objetos flotantes, o se tienen en cuenta los efectos del flujo sobre aparatos fijos. Los correntómetros pertenecen al segundo grupo. En esta página, las fotografías muestran la inmersión de dos correntómetros diferentes; el esquema*



es el del correntómetro de Ekman, cuyo estabilizador indica el sentido de la corriente, y el rotor calcula su velocidad. En esta página, arriba: el batiscafo Archimède, una de cuyas misiones principales fue estudiar el Gulf Stream. Abajo: esta estructura es una carta náutica de los indígenas de las islas Marshall; los palos representan las corrientes; las conchas, las islas.

máticos, que flotan entre dos aguas y proporcionan datos sobre las presiones, las densidades, las salinidades que encuentran, etc. También se utilizan métodos de cálculo indirectos que permiten luego trazar un «perfil» muy preciso de las masas acuáticas.

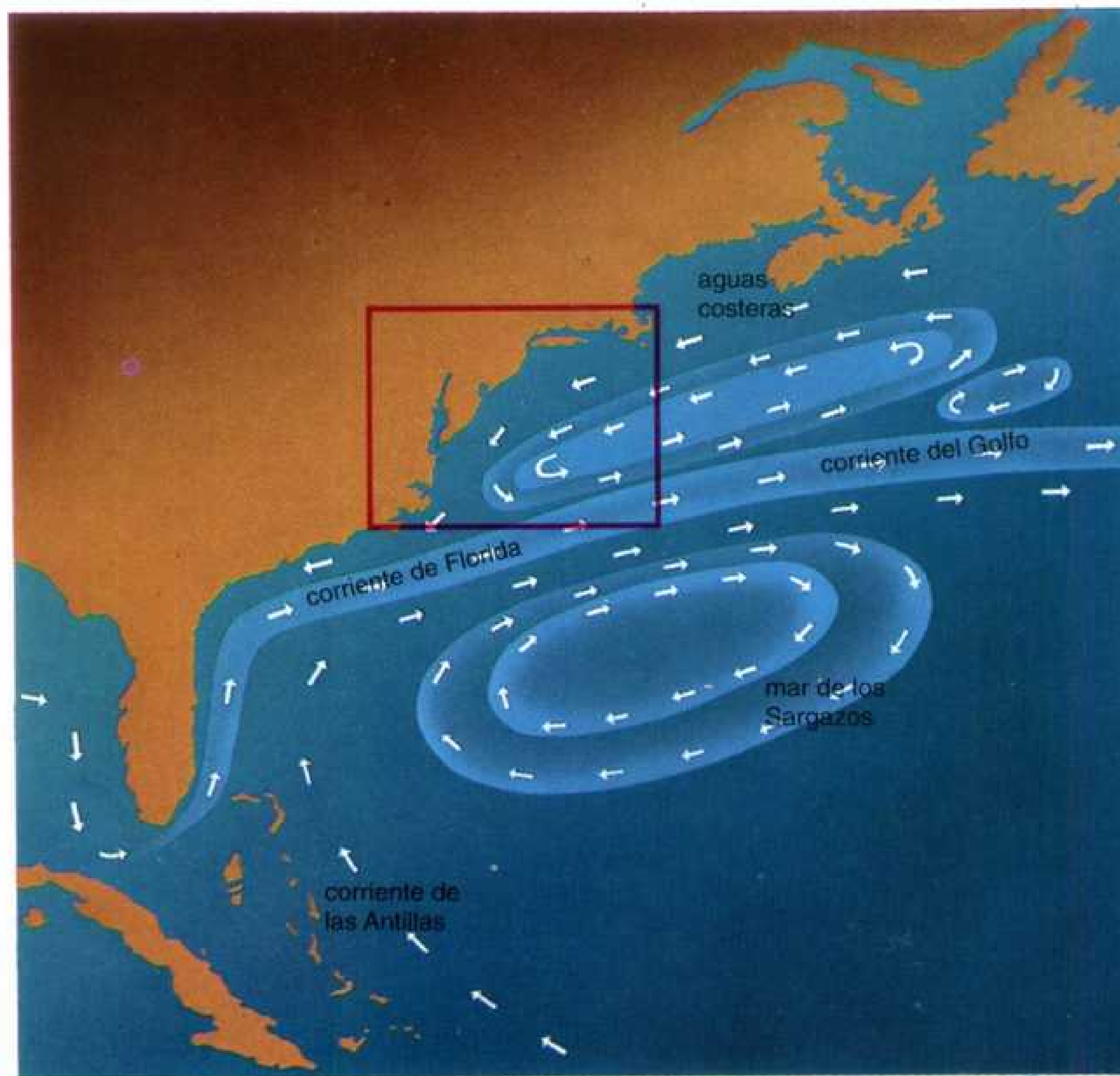
Las diferencias de presión locales, debidas a las corrientes, pueden determinar verdaderas diferencias del nivel del mar. Así, la corriente del Golfo provoca que el nivel del Atlántico frente a las costas de las Bahamas, y el del mismo océano cerca de la Florida, se «descuelgue» más de un metro. El conocimiento de este tipo de fenómenos facilita grandemente el perfeccionamiento de nuevos aparatos oceanográficos.

La representación de las irregularidades de la superficie del mar puede hacerse, indirectamente, por el cálculo de las densidades locales del agua. Un agua es más densa cuanto más salada y fría está. Como la presión hidrostática es la misma cualquiera que sea el lugar, se comprende que, si la columna de agua es densa, se eleve algo menos que si es ligera. Las variaciones de alturas no se refieren sino a fracciones de la altura total. Pero esto les basta a los especialistas en el estudio de los océanos para reconstruir, con reducidos márgenes de error, la dirección, la anchura, el espesor y la velocidad de las corrientes. Se trata aquí, como si dijéramos, de un triunfo del espíritu de síntesis.

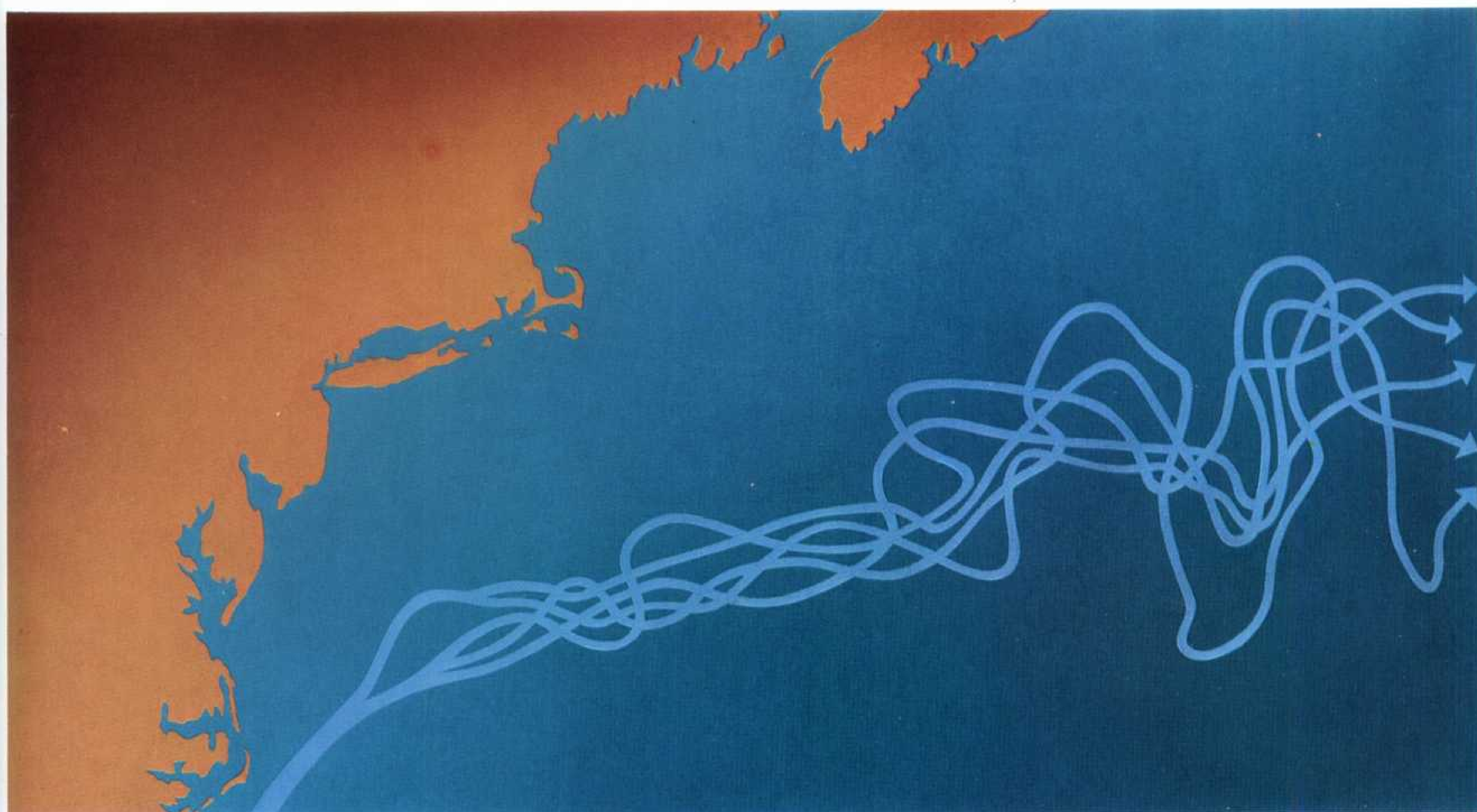
La corriente del Golfo

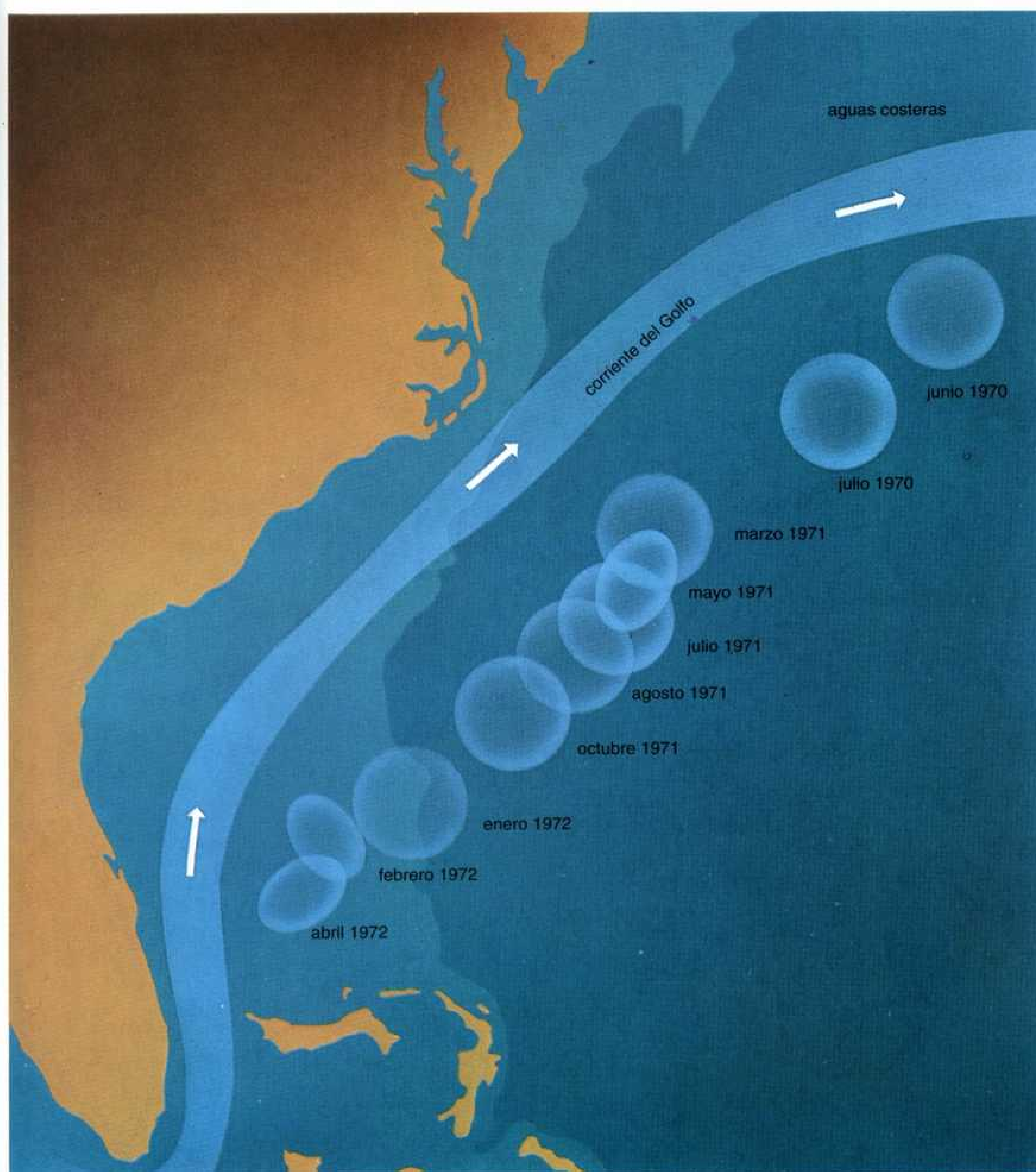
La corriente del Golfo, o Gulf Stream, aun cuando no sea la más potente del océano mundial (la de la deriva Antártica la supera varias veces en caudal), es la más conocida. Después de Cristóbal Colón y de los descubridores del Nuevo Mundo, fue estudiada por Benjamín Franklin y luego por toda una pléyade de oceanógrafos.

Surge del encuentro de dos corrientes calientes. La corriente norecuatorial del Atlántico, que procede del este y tropieza con América del Sur, sube hacia el norte. Uno de sus ramales penetra en el mar Caribe, pasa por el estrecho de Yu-



La corriente más famosa. *La corriente del Golfo, o Gulf Stream, es la más conocida y utilizada por los marinos (abajo: una fotografía desde satélite). Se acompaña de convergencias, meandros y remolinos. Página siguiente, arriba: los meandros. Abajo: la evolución de un vórtice secundario de 1970 a 1972.*





catán, se arremolina en el golfo de México y resurge por las bocas de Florida. Es la primera componente de la corriente del Golfo. El otro ramal costea las Pequeñas y luego las Grandes Antillas, y al llegar al norte del archipiélago de las Bahamas constituye la segunda componente del Gulf Stream.

La corriente de Florida y la de las Antillas, haciéndose un solo y mismo «río en el mar», se flexiona bruscamente hacia el este, a la altura del cabo Hatteras. Llegada a este sitio, la corriente del Golfo tiene a su izquierda aguas frías (alimentadas por la corriente del Labrador), y a su derecha aguas cálidas; de esta disparidad en las densidades surge una diferencia de nivel. La fuerza de gravedad que resulta de la diferencia de densidades se ve en un determinado lugar, y para una parte de las aguas del Gulf Stream, exactamente equilibrada por la fuerza de Coriolis, de tal manera que se forma una corriente circular anexa, pero muy potente, en cuyo centro se encuentra el mar de los Sargazos.

La corriente del Golfo, cuya velocidad máxima es del orden de los tres metros por segundo, tiene una anchura muy variable según los lugares por donde pasa. Los estrechos de Florida son su principal cuello de botella. Cuando por ellos enfila, desplaza 30 millones de metros cúbicos de agua por segundo. (Esta fantástica energía podría ser en parte domesticada mediante gigantescas turbinas. A este propósito, se han estudiado y diseñado ya varios proyectos.) Más hacia el norte,

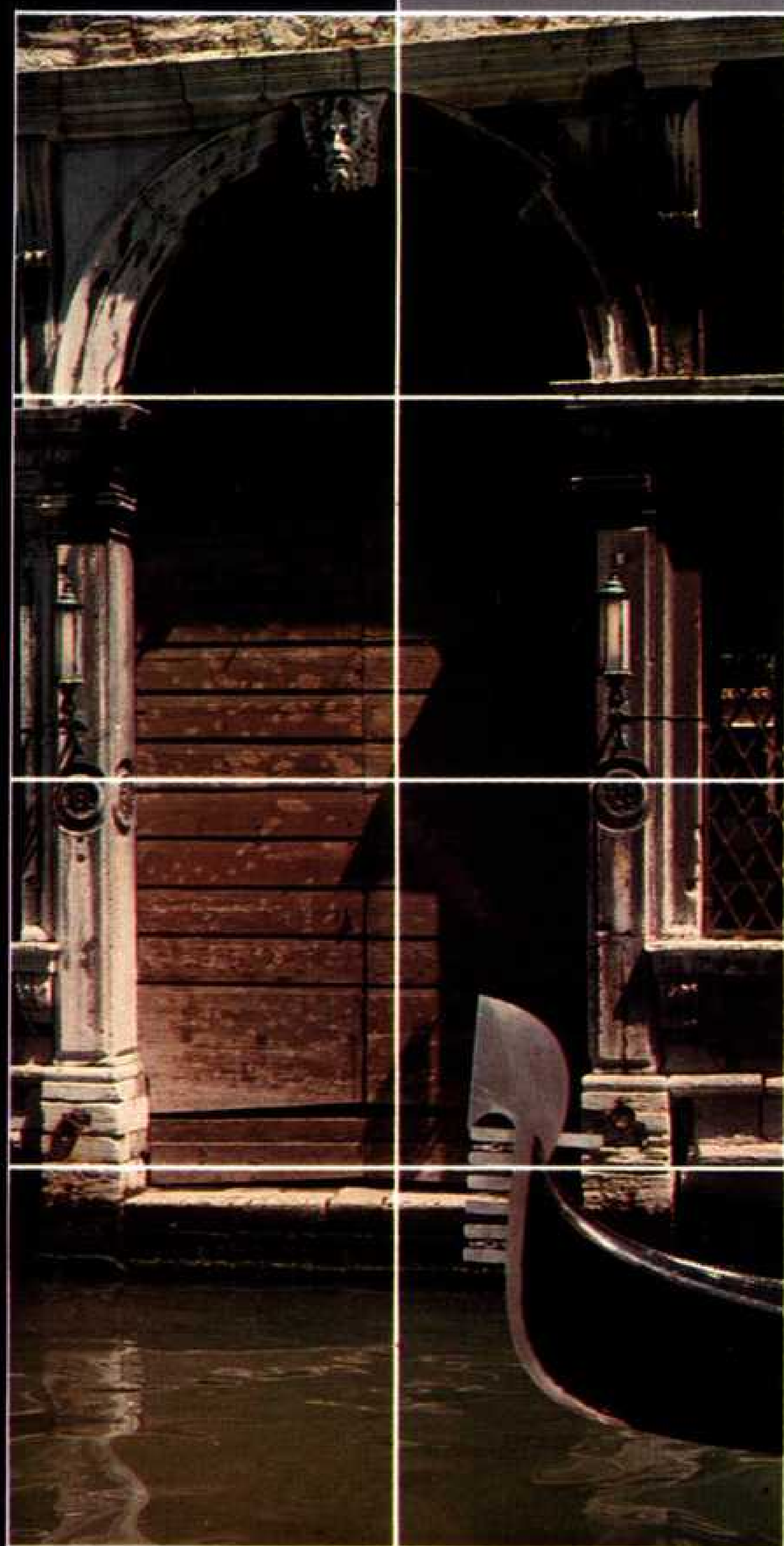
reforzada por la corriente de las Antillas, la corriente del Golfo mide más de 150 kilómetros de anchura, unos 200 metros de profundidad, y acarrea hasta 80 millones de metros cúbicos por segundo.

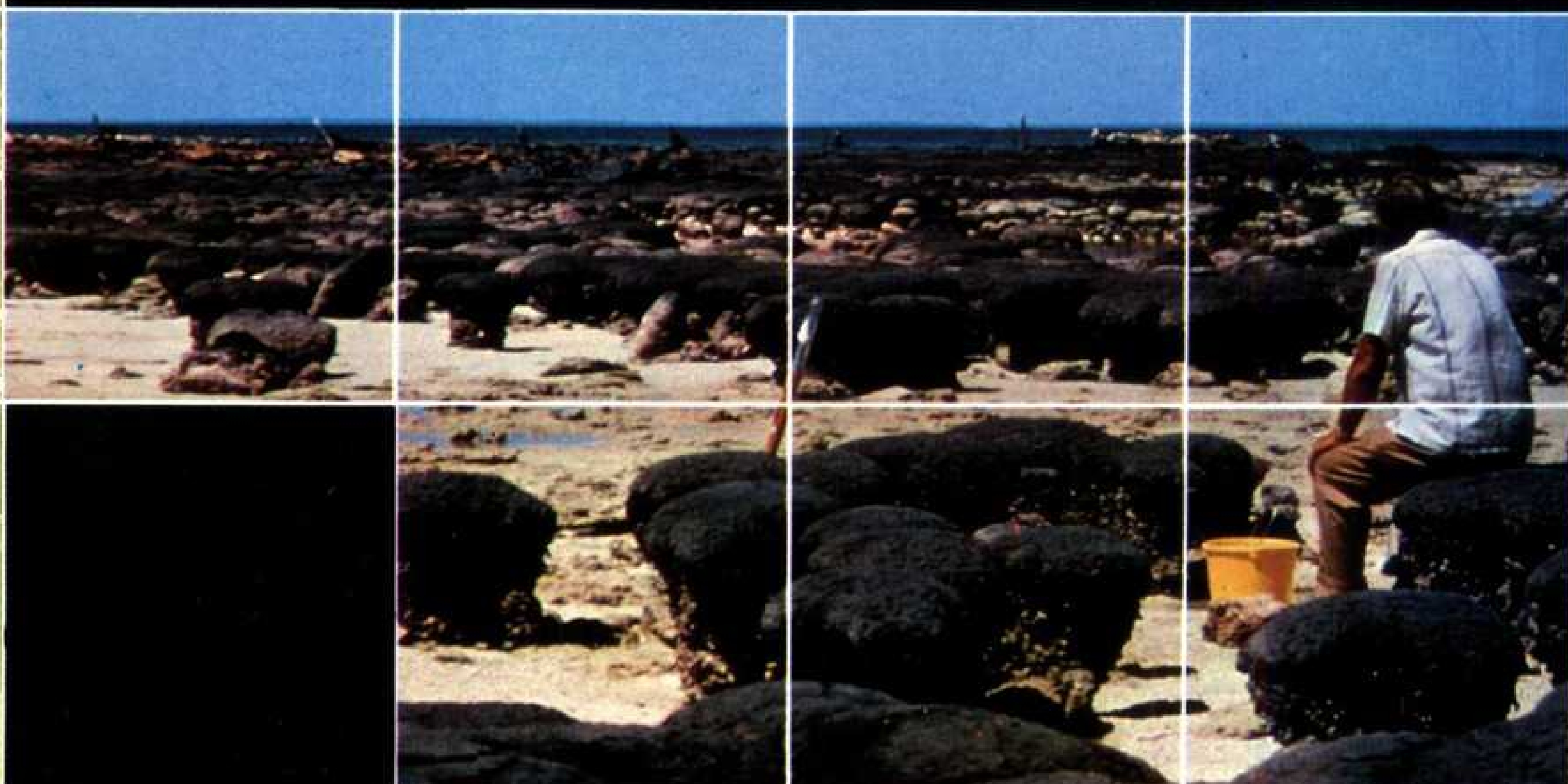
Después de costear el Gran Banco de Terranova, de crear el mar de los Sargazos y de bañar Islandia, esta agua templada suaviza el clima de toda la Europa atlántica, de Portugal y el golfo de Gascuña hasta las Spitzberg, pasando por las Islas Británicas y Noruega. Es un flujo templado y salado que contribuye además en gran medida a enriquecer las aguas locales. Sin él, el mar del Norte y el mar de Noruega no serían tan abundantes en pesca. Por todo ello, cuando se piense en domesticar, aunque sea parcialmente, semejante río marino (por ejemplo, para producir electricidad en Florida) habrá que considerar seriamente las consecuencias climáticas que tal hecho podría tener.



Los efectos de las corrientes. *Son varias las maneras en que se puede seguir el «rastro» de las corrientes. Por ejemplo, registrando las temperaturas o el contenido en sal de las regiones que atraviesan. O bien pueden anotarse los fenómenos superficiales que estos factores determinan en la superficie del océano. En esta fotografía de los cayos de Florida, estos fenómenos, que son debidos a la corriente del Golfo, aparecen nítidamente en forma de pequeñas crestas muy próximas, como un tren de olas.*

La dinámica de las mareas





Cuando el mar se retira

Las mareas han ejercido desde siempre gran fascinación sobre los hombres. Nuestros antepasados las atribuyeron, a veces, a la acción de los vientos, otras, al derrumbe de alguna gruta submarina, en ocasiones incluso al palpitar del corazón de la Tierra... Pero ya en el siglo IV a. de C., Piteas de Marsella hacía notar la relación existente entre las fases de la Luna y las mareas. Por su parte, Plinio, el Naturalista, en el siglo I de nuestra era, veía en ellas un efecto complejo de la Luna y del Sol.

Fue el inglés Isaac Newton (el «padre» de la teoría de la atracción universal) el que, a finales del siglo XVII, proporcionó la explicación matemática que prevalece hoy todavía. Efectivamente, la Luna (y secundariamente el Sol) gobierna el balanceo del flujo y del reflujo. Estos tienen una periodicidad que varía, según los lugares, de medio día a un día entero. La amplitud de la marea, es decir, la altura que separa la pleamar de la bajamar, depende de numerosísimos factores. En el Mediterráneo es de pocos centímetros solamente, mientras que en la bahía de Fundy, en Nueva Escocia (Canadá), alcanza más de 15 metros.

El conocimiento de las mareas reviste gran importancia para los navegantes. Cada puerto edita su «tabla» de mareas, que porporciona su altura cada día durante el año. La ignorancia del fenómeno llevó a ciertos conquistadores a lamentables errores de bulto: así, cuando Julio César quiso por primera vez invadir Inglaterra, no tuvo en cuenta las mareas de la Mancha. Desembarcó en el estuario del Támesis en la bajamar, y sus soldados se hundieron en el fango. Durante la Segunda Guerra Mundial, se cita el caso de ataques americanos que fracasaron en el Pacífico porque, habiéndolo previsto todo, no advirtieron que el reflujo pondría al descubierto arrecifes...

La existencia de fuertes mareas ha favorecido indudablemente a determinados puertos: los barcos de vela penetraban en ellos ayudándose del empuje del flujo; y desatracaban también fácilmente dejándose llevar por el reflujo. Liverpool, situado en el estuario estrecho del pequeño río Mersey, no hubiera alcanzado probablemente el desarrollo que tuvo sin las fuertes mareas locales.

La altura de las mareas en un punto dado no es constante: depende de la posición de la Luna. Las mareas más fuertes —las de equinoccio— aprovechan también la posición particular del Sol de esa época. Otros ciclos, mucho más prolongados, como la presión lunar (18,6 años) o el desplazamiento del perigeo de la Luna, dan lugar ocasionalmente a mareas catastróficas que se mencionan en los libros de historia.

Las mareas afectan, en realidad, a todos los fluidos terrestres. Se puede medir su amplitud en la atmósfera, como previera el francés Laplace con sus cálculos teóricos ya en 1774. Los globos sonda y los satélites han permitido poner de relieve «mareas atmosféricas» con una amplitud de más de 50 kilómetros, así como variaciones correspondientes al campo magnético en la ionosfera. De este modo, la Luna influye en la meteorología, las precipitaciones y el clima, de manera que una pequeña parte de las creencias populares sobre el tema es probablemente exacta. Desde luego, en la medida en que la corteza terrestre tiene una cierta elasticidad es también sensible a la atracción de la Luna. La deformación que experimenta no pasa nunca de los 25 centímetros, y sólo se puede descubrir con aparatos ultraperfeccionados, como los gravitómetros y los variómetros.

Las grandes mareas. *La amplitud de las mareas es mayor en unas regiones que en otras. El récord, más de los 15 metros, lo ostenta la bahía canadiense de Fundy. Abajo: aspecto del puerto de Calais, en la bajamar. A la derecha: la bahía de Mont-Saint-Michel, tan conocida, en marea baja.*





Los efectos de la Luna y el Sol

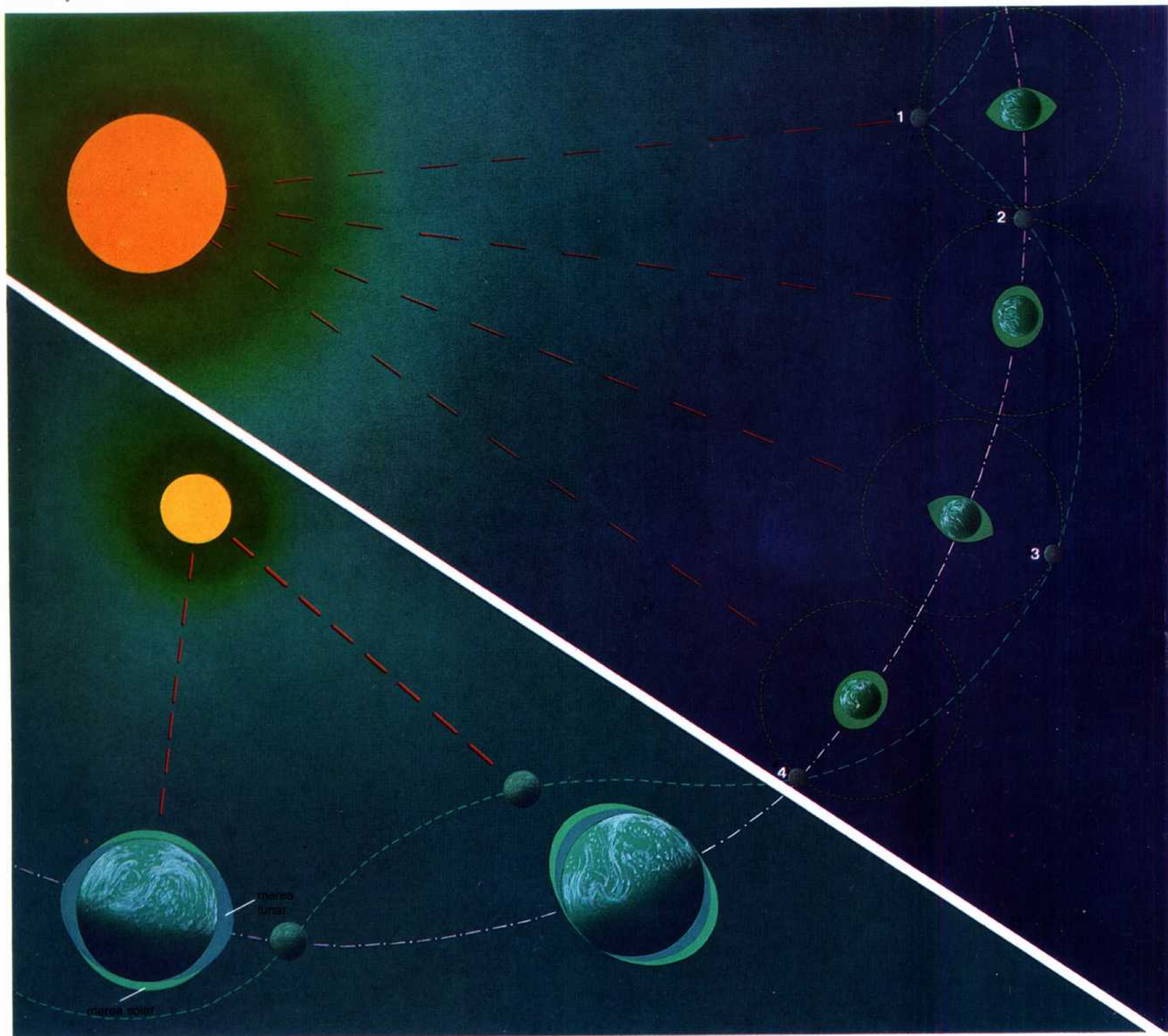
Un dicho popular afirma que «el tiempo y la marea no necesitan de nadie»; y todos recordamos la historia semilegendaria del rey Canuto (995-1035), que pretendió detener la marea metiendo los pies en el mar...

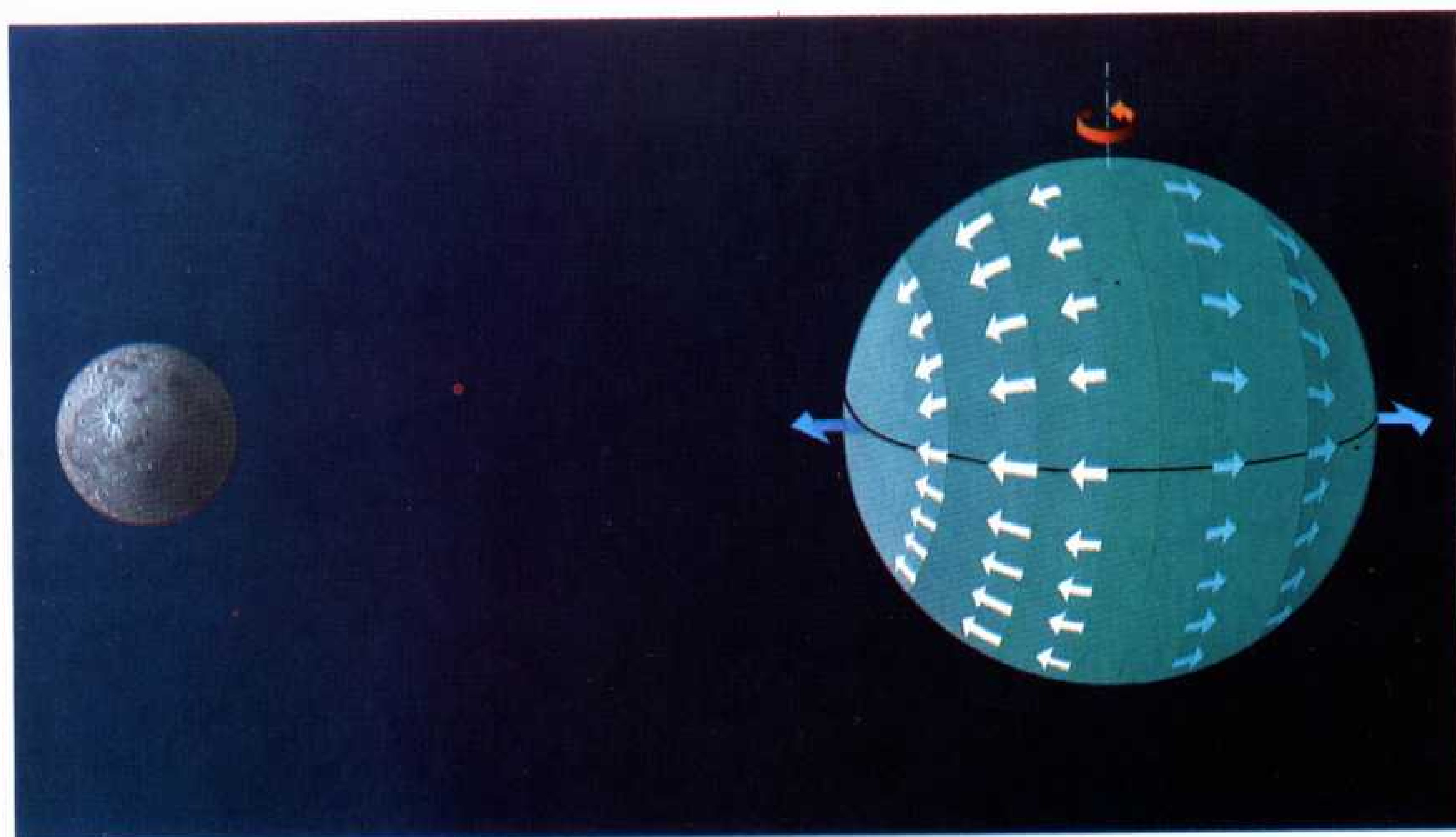
En realidad, las fuerzas puestas en juego por el flujo y el reflujo son colosales. El primero que las calculó fue Isaac Newton, en sus *Principia*, en 1678. Pudo lograrlo gracias al concepto de gravitación y a su famosa ley de atracción universal (la fuerza de atracción entre dos cuerpos pesados es directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia).

Si la Tierra no tuviera satélite natural, sólo habría mareas solares de escasa amplitud. La Luna, mucho más cercana, tiene una mayor influencia. Su rotación alrededor de nuestro planeta introduce numerosos factores paramétricos que resulta difícil enumerar. Por lo demás, para ser rigurosos, habría que hacer figurar en las ecuaciones la fuerza de atracción ejercida por todas las masas del sistema solar, especialmente por sus dos planetas mayores, Júpiter y Saturno. Tales consideraciones astronómicas no dejan de ser complejas. La Tierra y la Luna se comportan como un sistema doble, cuyo centro de gravedad (baricentro) está situado 1.600 kilómetros bajo la superficie de nuestro globo. La órbita de la Luna no es, pues, perfectamente circular. Cuando se traza la trayectoria real de nuestro satélite, teniendo en cuenta la rotación propia de la Tierra, se advierte que se trata *grosso modo* de una espiral cerrada. El centro del Sol, por idénticas razones, no se confunde con el centro de gravedad (baricentro) del sistema solar. Todas estas indicaciones (podrían hacerse muchas más) bastan para demostrar la dificultad de la tarea de los astrónomos y de los que se encargan tradicionalmente de calcular las tablas de mareas. En la actualidad, estas operaciones se realizan con la ayuda de computadoras cada vez más perfeccionadas.

La fuerza gravitatoria del Sol y de la Luna (dejando a un lado a los demás planetas), que provoca el levantamiento de las masas líquidas oceánicas, se ve en parte contrarrestada por la fuerza centrífuga, originada por la rotación terrestre.

Hay dos mareas lunares (de 12 horas 42 minutos) cada día lunar. Las mareas solares (dos veces menos potentes) tienen una duración de 12 horas. En realidad, estas cifras teóricas se ven perturbadas por gran número de factores concomitantes.





La Tierra, la Luna y el Sol. *La Tierra y la Luna (en esta página, arriba: la Tierra vista desde la Luna por el* Apolo X) *forman un sistema gravitatorio cuyo centro de gravedad está situado, en nuestro planeta, a unos 1.600 kilómetros bajo la superficie. Cada punto de la periferia terrestre se encuentra sometido, de una parte, a la atracción lunar y, de otra, a la fuerza centrífuga que resulta de la rotación del globo (dibujo superior). Las mareas, debidas a la atracción de la Luna y del Sol, son más amplias cuando ambos se encuentran alineados, lo que se produce (como muestra el esquema de la página anterior) con Luna nueva (1) y Luna llena (3). Por el contrario, las mareas tienen menos amplitud (llamadas «aguas muertas», frente a las otras, que son «aguas vivas») cuando el Sol y la Luna están en cuadratura, en el cuarto creciente y menguante.*

La Luna no está siempre a la misma distancia de la Tierra; lo mismo ocurre con el Sol. No todos los océanos tienen la misma forma ni las mismas dimensiones. En ciertos mares, las olas de marea entran en resonancia y se amplifican considerablemente; en otros, por el contrario, se neutralizan entre sí, de suerte que el flujo y reflujo son casi inexistentes.

Flujo y reflujo

Cuando llega a la plataforma continental, la ola de marea se ve amplificada debido a la falta de profundidad. Y cuando tiene que adentrarse en una bahía o en un estuario, se hace muy alta. Es lo que ocurre, por ejemplo, en los dos estrechamientos marinos de la Tierra donde la marea bate todos los récords de amplitud: la bahía de Fundy, en Canadá, y en el canal de La Mancha. La ola de marea, oprimida como en un embudo, se eleva y se acelera hasta alcanzar una altura de unos 15 metros y una velocidad de 15 nudos (algo más de 25 kilómetros por hora: la tradición que pretende que en Mont-Saint-Michel avanza «a la velocidad de un caballo al galope» es evidentemente exagerada).

El embate de las mareas provoca una erosión mínima de los fondos a los que afecta. Sin embargo, en la bajamar, las corrientes que se forman en las playas alcanzan velocidades bastante altas (algo menos de 25 kilómetros por hora), y socavan el substrato. Naturalmente, también las olas de marea experimentan los efectos de la fuerza de Coriolis: son desviadas, tanto las que suben como las corrientes que descienden. Cuando se registra la trayectoria de una boya anclada al fondo en una bahía abierta al flujo y reflujo, se advierte que describe una especie de 8.

En las zonas costeras bajas, arenosas o fangosas, existe toda una serie de canales de marea, sumamente ramificados, que el flujo recorre para invadir sus dominios, y que son los últimos en vaciarse con el reflujo. Tales formaciones se extienden sobre kilómetros cuadrados en la región de Waddenzee (Países Bajos), en la de Wash (Inglaterra oriental), y en la de Wattensee (Alemania del Norte y Dinamarca). Se tiene un poco la impresión de estar ante redes fluviales. Sin embargo, evolucionan mucho más rápidamente que estas últimas. El geólogo australiano W. F. Geyl descubrió recientemente, al este de su país, redes de marea fósiles, a más de 300 metros de altitud: prueba de las grandes transformaciones que esta costa ha experimentado.

En los estuarios de los ríos, las mareas forcejean con las corrientes de agua dulce que vienen río abajo. La masa acuática del río, al obstaculizar la ola de marea ascendente la obliga a elevarse más de lo que haría normalmente. En el estuario, y a veces muy tierra adentro, el flujo avanza como un auténtico muro líquido, al que se le da el nombre de «macareo». Este último, que puede resultar peligroso para las embarcaciones pequeñas, se hace sentir durante decenas de kilómetros en el lecho del Sena, del Garona, del Severn o del Támesis. Se dice que en el río Fuchun, en China, el macareo alcanza

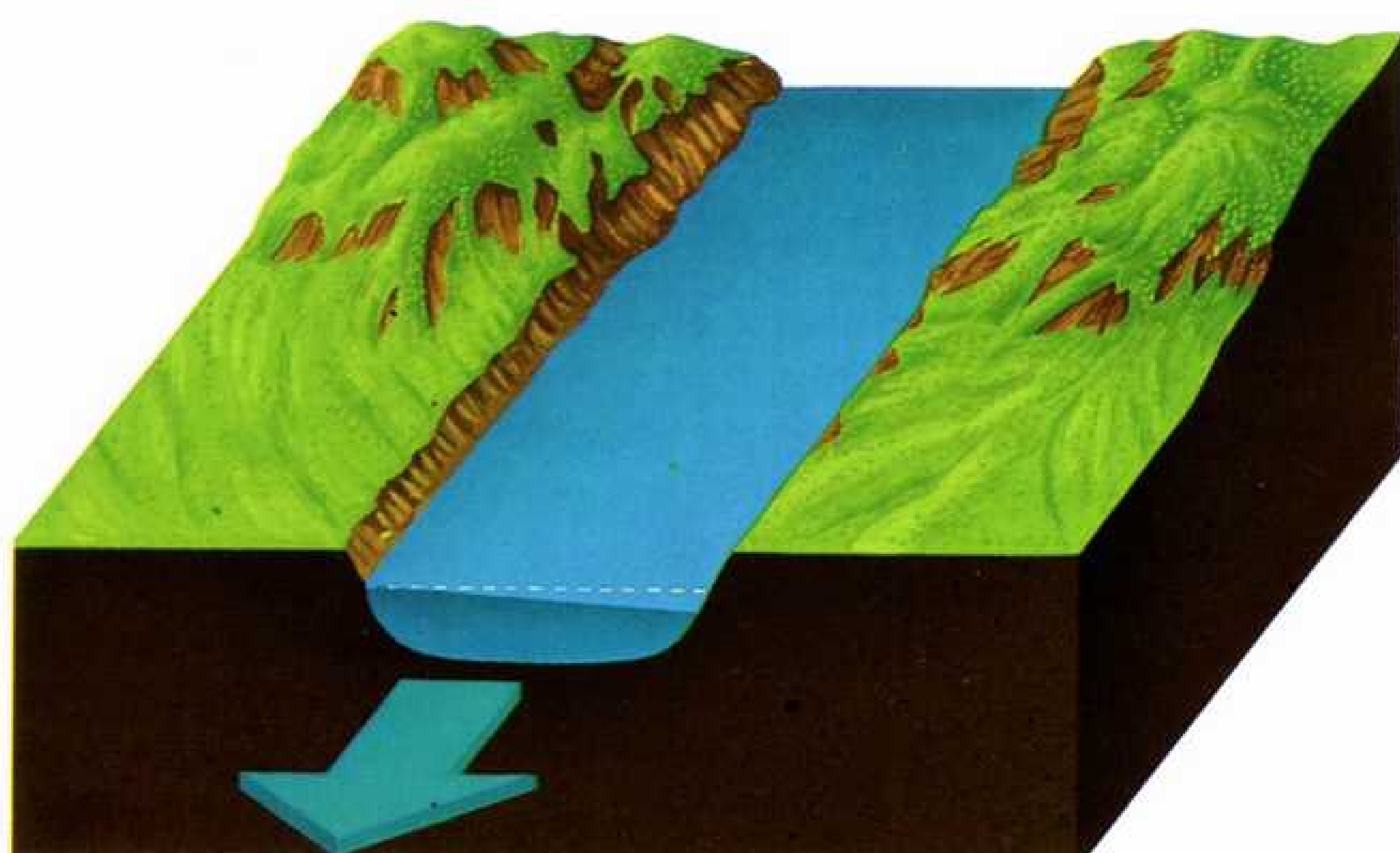








ocho metros de altura. En el Amazonas, la marea es claramente visible a 1.000 kilómetros de la desembocadura. El macareo de este río, llamado *pororoca*, se presenta como una muralla en movimiento de cinco metros de altura que avanza a 20 nudos de velocidad, con un estruendo que se oye a 25 kilómetros de distancia; su potencia se debilita poco a poco a medida que la fricción con el lecho del río la frena y debilita.



Las mareas en proximidad de las costas. *Las características topográficas de las cuencas oceánicas influyen grandemente en el régimen de las mareas. En las angosturas, la ola tiende a elevarse; además, debido a la fuerza de Coriolis, el flujo es desviado hacia la derecha y el reflujo hacia la izquierda (en el hemisferio Norte). Esto explica que en los estuarios el nivel del agua no sea el mismo en las dos orillas (esquema de al lado). Arriba: el macareo en el lecho del Severn (fotografía tomada en 1921). Página anterior, arriba: la marea entrante en la bahía de Fundy. En medio: charcas al retirarse el agua en la bajamar. Abajo: fotografía que muestra una red de drenaje (con un microdelta), también en la bajamar.*

Las mareas en el mundo



Además de la componente vertical, debida a la atracción de la Luna y el Sol que eleva las masas de agua para originar las mareas, éstas están animadas de una pequeña componente horizontal, que parece inocua, pero que tiene gran importancia. En efecto, la Tierra no está inmóvil cuando experimenta la fuerza gravitatoria de su satélite y de su estrella. Para un observador situado en el polo Norte, nuestro globo gira en sentido contrario a las agujas del reloj. Se velocidad de rotación alcanza unos 300 metros por segundo en el ecuador. En tales condiciones, la ola de marea debe «seguir» a la Luna y al Sol de este a oeste, y es este fenómeno el que da lugar a la componente horizontal.

La presencia de los continentes obstaculiza el paso de la ola de marea. Esta última se desplaza más o menos hacia el oeste en los océanos Pacífico e Indico (como lo dicta la lógica de la rotación terrestre). En el Atlántico, entra por el sur (por el océano glacial Antártico), y luego se dirige hacia el norte. La fuerza de Coriolis juega su papel habitual: desvía la ola hacia la derecha en el hemisferio Norte, y hacia la izquierda en el hemisferio Sur. En el Atlántico Norte, el fenómeno es extraordinariamente complejo. La masa acuática de la ola de marea efectúa una rotación completa. Se comporta como un monstruoso giróscopo, girando en torno de un centro teórico inmóvil llamado «punto anfidrómico». Este punto anfidrómico existe para cada ola de marea, pero no es el mismo para todas (tan numerosas son las variables).

De hecho, existen puntos anfidrómicos en otras cuencas oceánicas aparte del Atlántico Norte. Se encuentra uno, por



El mapa cotidal de los océanos. *El movimiento propio de cada ola de marea se ve perturbado por la fuerza de Coriolis y por el aspecto topográfico de la cuenca. Los sectores en que la amplitud es grande corresponden a regiones accidentadas. Cada cuenca oceánica encierra un cierto número de puntos anfidrómicos donde es casi nula la elevación del nivel del mar por efecto de la Luna y del Sol; estos puntos funcionan como los centros de gigantescos giróscopos acuáticos, que giran en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio boreal (y en el sentido horario en el hemisferio austral).*

ejemplo, justo en medio del Pacífico. La amplitud de la marea en los atolones del centro del gran océano es siempre muy reducida (unos 50 centímetros), mientras que alcanza 1,5 metros y más al abordar las plataformas continentales.

En las cuencas de poco tamaño, sometidas a una violenta penetración de la ola de marea (como ocurre en el mar del Norte), se observan efectos giroscópicos múltiples, es decir, que se encuentran numerosos puntos anfidrómicos. Los mares cerrados o casi cerrados carecen prácticamente de mareas (unos 30 centímetros). Se conocen casos muy curiosos en que la topografía de la cuenca (especialmente cuando existen islas) multiplica los puntos anfidrómicos. En Southampton, al sur de Inglaterra, la marea entrante se ve en parte desviada por la isla de Wight; uno de sus «brazos» da origen a un flujo en el puerto; luego llega el otro, tras haber rodeado la tierra insular, y provoca una segunda pleamar; del tal manera que Southampton es probablemente uno de los pocos sitios de la Tierra donde se pueden observar cuatro períodos de pleamar cada veinticuatro horas.

La huella de las mareas

A finales del siglo XIX, George Darwin (hijo de Charles Darwin) emitió una hipótesis seductora. Los astrónomos habían calculado que la Tierra tiende a girar cada vez menos rápidamente alrededor de su eje; en otras palabras, que los días se alargan. Este fenómeno es sumamente modesto, puesto que el alargamiento de la duración del día es de apenas tres milisegundos por siglo, pero existe. George Darwin lo atribuyó a la fricción de las olas de marea sobre las plataformas continentales. Para que la cantidad de movimiento se conserve, la Luna recorre una órbita más grande. Esto equivale a decir que, lógicamente, la Luna estaba más próxima a la Tierra en los tiempos geológicos, y que las mareas eran entonces más fuertes que hoy.



El geólogo americano J. W. Wells ha propuesto recientemente un método ingenioso para comprobar esta hipótesis. Los corales «crecen» con gran regularidad, y en la copa de cada pólipo se puede observar al microscopio los anillos de crecimiento cotidiano de estas colonias de animales. Los estudios llevados a cabo a partir de esta comprobación han puesto de manifiesto que hace unos 400 millones de años, el año comportaba 400 días (la Tierra giraba 400 veces sobre ella misma mientras efectuaba una revolución completa en torno al Sol). Hubo, por tanto, una retardación. Las hipótesis modernas suponen, por lo demás, que esta acción de frenado no fue uniforme. Fue más importante cuando la cantidad de agua sometida a las mareas era mayor, es decir, durante los períodos interglaciares. Durante las glaciaciones, la Tierra gira ligeramente más rápido que durante las interglaciaciones.

Los geólogos tratan de confirmar en todos los mares estas diversas teorías con los métodos que les son propios. Algunos las ponen en entredicho. Buscan, en especial en los cienos y sedimentos, indicios (restos de animales, caparazones de diatomeas, algas incrustantes, etc.) que les permitan determinar el antiguo volumen de las mareas. Al presente, anaqueles enteros de bibliotecas científicas se han consagrado a estas cuestiones, que siguen siendo objeto de controversia. Los resultados no son concluyentes.

A fin de cuentas, ¿es exacta la teoría de George Darwin? ¿Determina la fricción de las mareas una retardación progresiva de la rotación de la Tierra y, por tanto, el alargamiento de los días? Algunos especialistas explican este último fenómeno de otro modo. Piensan, por ejemplo, que el corazón de la Tierra se expande, y que este aumento de volumen explica no sólo la retardación de la rotación del globo, sino también una considerable parte del mecanismo con el



que actúa la tectónica de las placas. Alfred Wegener, el «padre» de la hipótesis de la deriva de los continentes, escribía que las mareas eran tal vez en parte responsables de la deriva de América hacia el oeste. Cosa ciertamente imposible, pues la potencia desarrollada en el proceso de migración continental es infinitamente superior a la que concierne al flujo y reflujo. Sin embargo, esta idea comporta quizá una porción de verdad: la atracción que la Luna y el Sol ejercen sobre la corteza terrestre provoca en ella «minimareas» continentales, y no dejaría de tener influencia sobre la estructura misma de las placas tectónicas del globo. Resulta sumamente difícil calibrar la importancia real de este fenómeno.



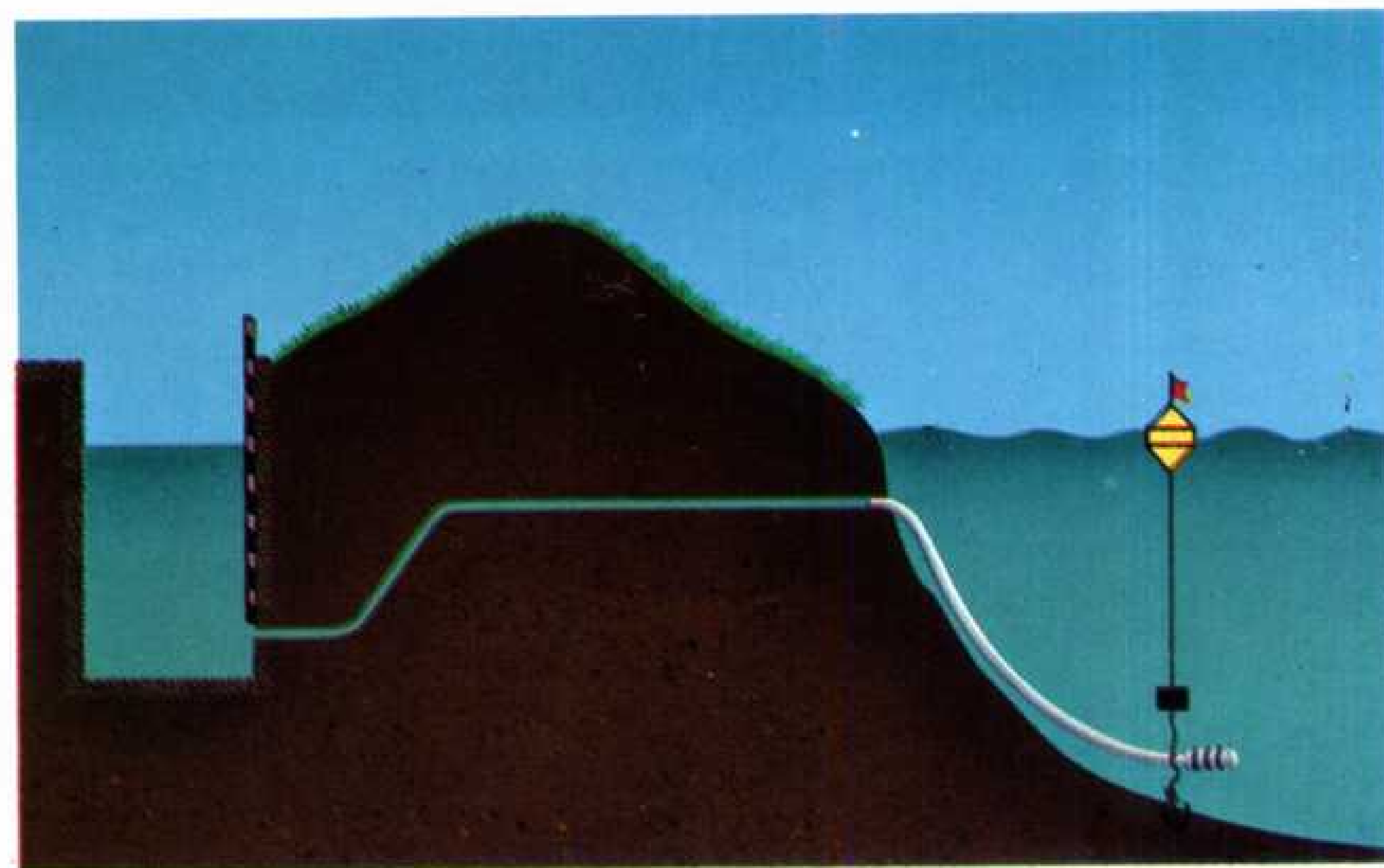
Los estromatolitos y los «ripple-marks». *A lo largo de ciertas costas se encuentran curiosas formaciones llamadas «en estromatolitos», cuyo origen fue por mucho tiempo misterioso. Sólo tras las investigaciones efectuadas en la bahía de Shark, en Australia (aquí, a la izquierda, y en la página anterior, arriba), se hizo luz sobre el tema: los estromatolitos deben su existencia a la presencia de un tapiz de algas azules en la zona intertidal: ésta, a cada reflujo, retiene una delgadísima capa de fina arena. En esta página, arriba: un estromatolito fósil encontrado en Dorset, Inglaterra. Aquí arriba:* ripple-marks *fósiles en un bloque de arenisca; estas ondulaciones son provocadas en la arena de los fondos por las corrientes.*

Cómo se miden las mareas

EL medio más sencillo de medir las mareas consiste en clavar una escala graduada en la roca o en la arena y leer directamente en ella la altura de la ola. Sin embargo, este método es rudimentario, pues las olas no permiten recoger las indicaciones milimétricas. Además, la fuerza de la ola tiende a inclinar la escala; ésta puede verse afectada por un asentamiento del fondo, etc. Una de las más antiguas escalas para mareas conocidas data de hace más de trescientos años, instalada contra un puente de Amsterdam; entonces, el gran puerto holandés daba sobre un Zuyderzee abierto al mar. En el siglo XIX se perfeccionaron varios sistemas. Uno de ellos consiste en un tubo clavado en el fondo del mar, que desemboca, más allá de la línea de costa, en un pozo que cuenta con una escala graduada. Por el principio de los vasos comunicantes, el agua asciende en el pozo con el flujo y se retira con el reflujo. La lectura de la altura alcanzada se lleva a cabo sin que el oleaje perturbe para nada. Naturalmente, en esto como en otras cosas, para dominar el tema, los especialistas prefieren disponer de datos «en registro continuo». Y no tardaron en proyectar dispositivos de registro muy eficaces,

Los mareógrafos. *El más sencillo de estos aparatos para medir las mareas es la escala graduada, clavada en el fondo; varias escalas en serie proporcionan resultados más precisos (en esta página, arriba, a la izquierda). Sin embargo, la ola en movimiento dificulta la lectura directa: un sistema basado en el principio de los vasos comunicantes (en esta página, arriba, a la derecha) evita este inconveniente. Este mismo dispositivo se puede acoplar a un rodillo de registro. Basta, para ello, con disponer un juego de flotadores y de contrapesos, como los aquí representados (en esta misma página, abajo): se tiene entonces un auténtico mareógrafo.*

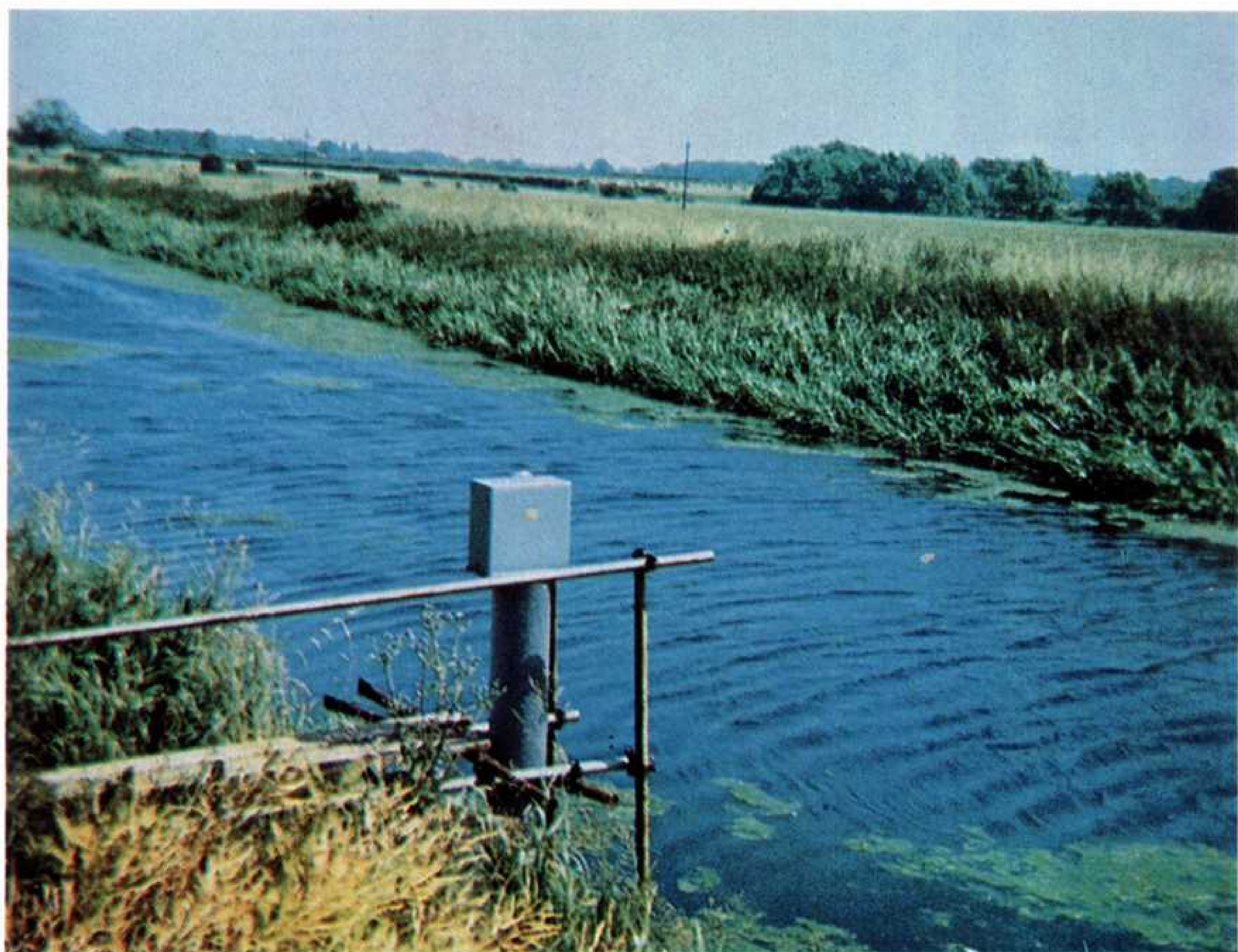




aparato de registro
contrapesos
pesos
marea alta
marea baja
pesos
marea alta
marea baja

que se perfecciona al añadirle un sistema de notación de la hora. Todas las medidas de amplitud de la ola, tomadas en tiempo real, son puestas de este modo a disposición de los oceanógrafos. Aquí, a la derecha: utilización de un mareógrafo a mar abierto. Abajo: un mareógrafo fijo en la desembocadura de un río costero.





que se basan en un principio muy simple: un flotador, conectado a un «pozo de marea», acciona una plumilla que marca sobre un rodillo de papel en movimiento (este último lleva todas las indispensables indicaciones horarias). A partir de este modelo esquemático, los oceanógrafos han perfeccionado aparatos de registro prácticos, fiables y precisos. Algunos están proyectados especialmente para ser colocados cerca de tierra (en una playa, en la desembocadura de un río costero, contra un acantilado). Otros son embarcados a bordo de islas artificiales ancladas al fondo, para medir la altura de las olas de marea en alta mar.

Los datos relativos a las mareas son hoy día recogidos diariamente en un gran número de países de todo el mundo. Algunos laboratorios u organismos internacionales se han impuesto la tarea de recopilarlos todos, y sacar unas conclusiones generales en cuanto al funcionamiento mundial del fenómeno. Sus síntesis presentan además un interés geográfico. Son tantas las necesidades de la cartografía moderna, que es necesario determinar con gran precisión el «nivel del mar», es decir, el punto de referencia «cero» de todas las elevaciones. Naturalmente, los trabajos relativos a las mareas sirven, en primer término, para la navegación. Las autoridades de los puertos, los prácticos y capitanes de barcos consultan diariamente sus tablas, que son mejoradas año tras año. Las cartas marinas más precisas muestran el perfil de las costas en función de la altura del oleaje, con marea baja, con marea alta, en el curso de las grandes mareas, etcétera.

El trabajo de los oceanógrafos en este campo interesa a un importante número de personas, desde armadores de buques, preocupados por aparejar sus barcos en las mejores condiciones posibles y con la mayor economía de combustible, hasta los astrónomos y los geofísicos, pasando por los aficionados a la navegación deportiva, los cartógrafos, etc. Para satisfacer la demanda, la Asociación Internacional para la Ciencia Física de los Océanos *(International Association for Physical Science of the Ocean)* dirige en Gran Bretaña un centro de documentación muy completo. El Instituto de Ciencias Oceanográficas *(Institute of Oceanographic Sciences)*, con base en Bidston, cerca de Liverpool, procesa todos estos datos por computadora. Interrogando a esta última correctamente se puede obtener una tabla exhaustiva de las mareas para la mayoría de las regiones del mundo. Se comprenderá fácilmente el interés que revisten semejantes bancos de datos para ser utilizados en la navegación y las obras públicas.

Venecia, caso dramático

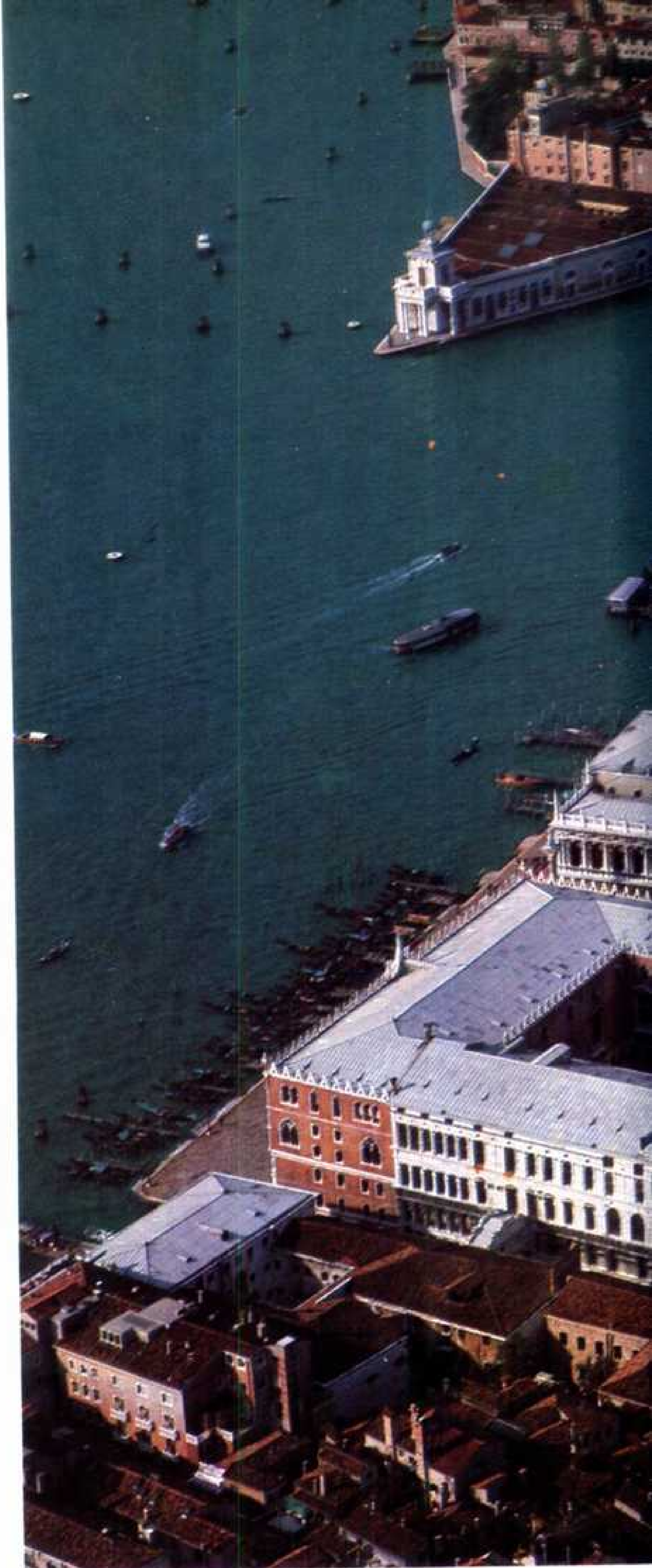
En determinados lugares, la ola de marea se comporta de manera bastante extraña. Dada la configuración particular de la cuenca donde se expande, se torna cada vez más alta. Esto se produce sobre todo en los mares poco abiertos. En el fenómeno intervienen los efectos de resonancia. Es análogo a lo que pasa cuando se transporta un recipiente lleno de agua: la onda que surge del balanceo que se imprime al recipiente se refuerza a cada paso. La resonancia la amplifica, y es frecuente el derrame del líquido.

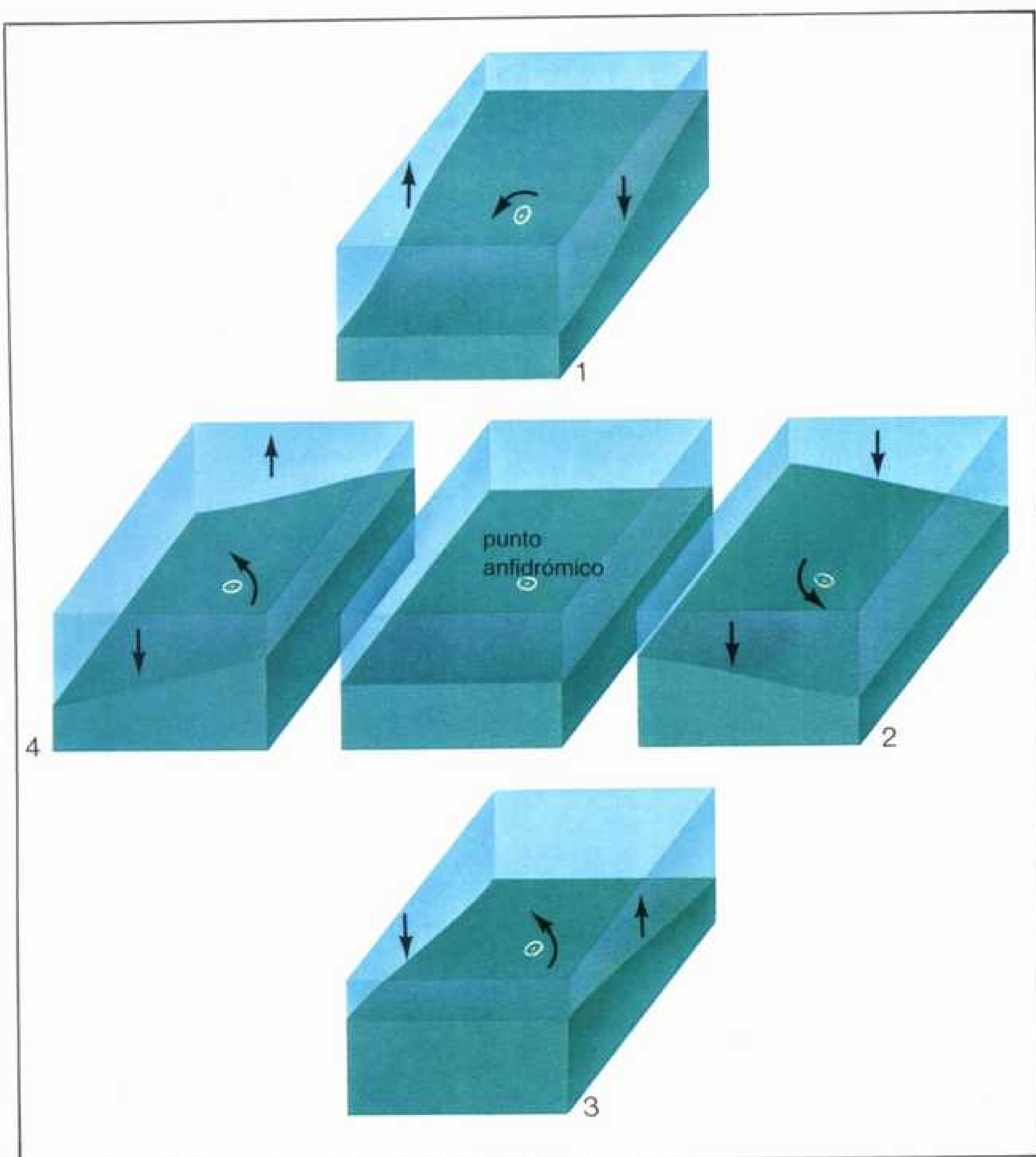
El mismo proceso se produce a veces en estos grandes «recipientes» que son los lagos y los mares. El suizo F. A. Forel lo observó por primera vez en el lago Leman, donde la ola de marea, normalmente inadvertida, es acelerada por el viento, y donde se eleva mucho más de lo que sería de esperar, por un efecto de resonancia. En ciertos mares, este tipo de «fantasía física» puede dar lugar a catastróficas inundaciones. Tal ocurrió, en 1953, en el mar del Norte, cuando una tempestad agravó las consecuencias de una serie de fortísimas mareas, provocando el desastroso derrumbe de los diques holandeses. En el golfo de México, la ola interna que nace de una manera semejante puede tener su «epicentro» a más de 1.000 metros de profundidad. De estas olas hablaremos más adelante.

En el mar Rojo, el régimen de mareas es muy particular desde este punto de vista. En esta cuenca, con unos 2.000 kilómetros de longitud aproximadamente, y con orillas escarpadas y orientadas del sudeste al noroeste, la ola de marea procedente del océano Indico entra por el estrecho de Bab el-Mandeb. En aguas del mar Rojo, esta ola determina una serie de puntos de expansión (vientres) y puntos de comprensión (nudos) que se asemejan un tanto a lo que ocurre con una cuerda que vibra. El primer punto nodal está situado unos 100 kilómetros al norte de Adén; el segundo, a unos 1.000 kilómetros más al norte todavía, cerca de Port Sudán. A esta marea de origen oceánico se añade una marea lunar propia del mar Rojo, que se desencadena unas tres horas después de la primera y es tres veces menos potente. Los efectos conjugados de ambos flujos se manifiestan en altas aguas periódicas.

Un fenómeno similar —menos amplio pero más destructor— afecta al mar Adriático, y amenaza las maravillas arquitectónicas que posee la ciudad de Venecia. Una ola de marea (de poca amplitud, no obstante), procedente del Mediterráneo, conjuga sus efectos con una ola de marea propia del Adriático (frente a las costas de Ancona existe un punto anfidrómico), y provoca una elevación importante del nivel del agua en el fondo de la cuenca, precisamente donde se levanta la ciudad veneciana.

Los efectos de estos movimientos se ven a veces amplificados por fenómenos de resonancia, debidos en especial a los tre-

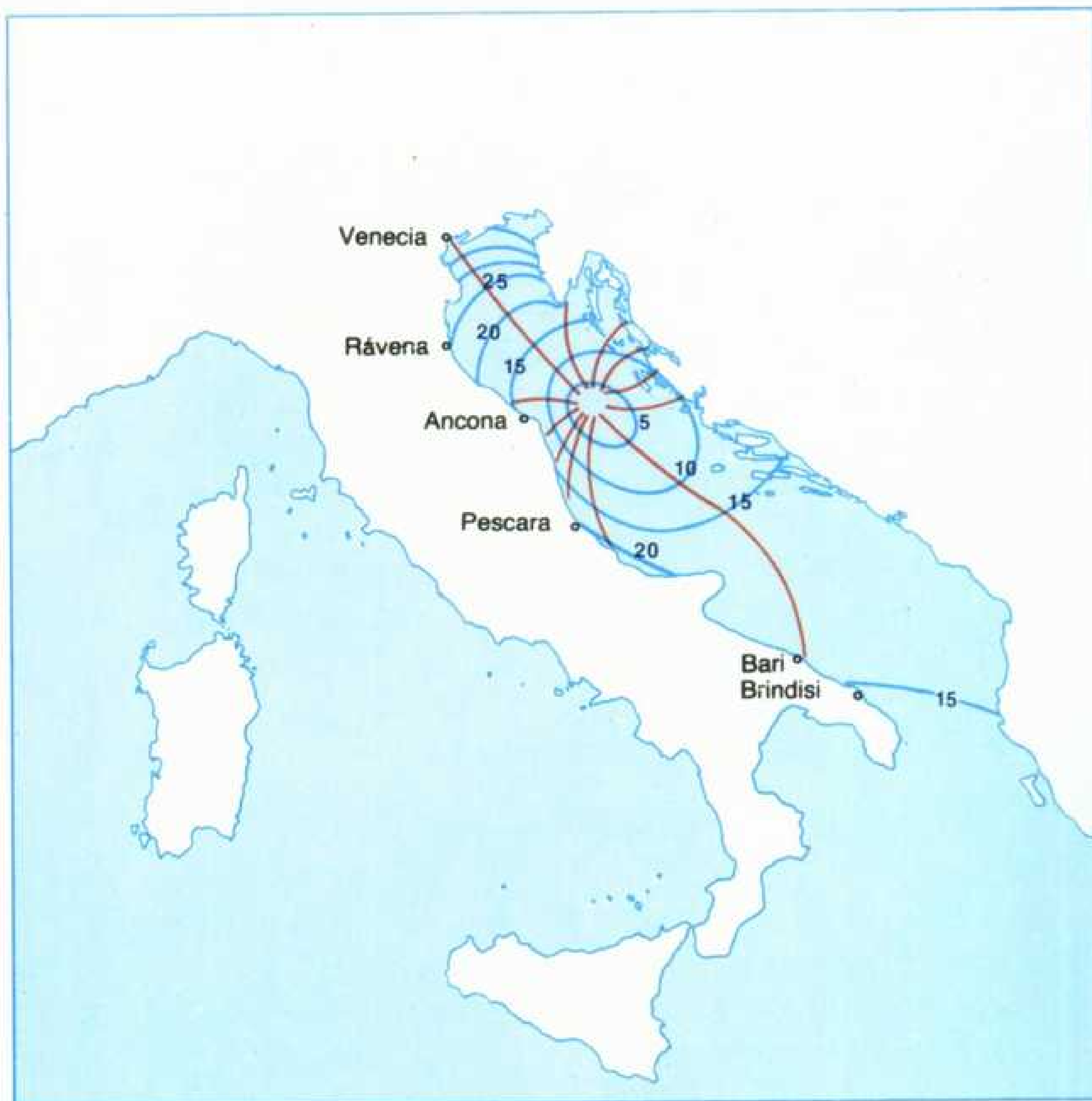






El «aqua alta». *El fenómeno del* aqua alta *que afecta periódicamente a Venecia se debe a una marea muy amplia, cuyos efectos se ven reforzados por la acción del viento. Las fotografías de esta doble página dan idea de los destrozos que la ciudad de los dux padece entonces, estragos que se agravan por el hecho de que la ciudad se hunde, debido al bombeo que se lleva a cabo en la capa acuífera del subsuelo arenoso. El acabar con este bombeo es condición* sine qua non *para salvar a Venecia. Aquí, a la izquierda: la elevación del agua se efectúa según un proceso circular en torno al punto anfidrómico.*





Venecia
25
Rávena
20
15
Ancona
5
10
15
Pescara
20
Bari
Brindisi
15







Las huellas del mar. *Las variaciones del nivel de las aguas debidas a las mareas jalonan la vida de los grandes puertos, sobre todo de los que, como Venecia, están construidos directamente sobre el mar. Los muros de los palacios de la ciudad de los dux, como muestran estas fotografías, llevan la marca indeleble de las inundaciones que han padecido. El* aqua alta, *conocida desde hace siglos, no adoptó un carácter catastrófico más que en tiempos recientes, debido en especial a los efectos de la industria humana sobre el subsuelo sumergido de la ciudad. La ONU patrocina un plan de salvamento.*



nes de las olas creadas por el viento. Cuando se dan cita las peores condiciones (mareas de equinoccio, vientos fuertes, etc.), Venecia es víctima de una *aqua alta* que inunda la plaza de San Marcos y los pisos bajos de los palacios, haciendo estragos en los inmuebles. La amplitud del desastre es tanto mayor en la ciudad de los dux en cuanto que en la actualidad, debido al bombeo por parte de las industrias de Mestre, se está vaciando la capa acuífera que se encuentra bajo la laguna, lo cual provoca un gradual hundimiento de la ciudad.

La región de Long Island, cerca de Nueva York, y la costa de los Países Bajos son también sensibles a estos fenómenos.



REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

Michael Abbey. Ansa/C. Marino. Archives Fabbri. Associated Press. Ira Block/Woodfin and Associates. René Burri/Magnum. Bryn Campbell/Magnum. Enrico Cappelletti. Nino Cirani. B. M. Cita. CNR Instituto di Geofisica della litosfera, Milán. Collection Musée de l'Homme. G. Costa. Paolo Curto. Giorgio D'Andrea. Dani/Jeske. Larry J. Doyle. B. Dursley. Harold Edgerton. Esa. Rhodes W. Fairbridge. Mario Fantin. FAO. W. Finkl Jr. N. C. Flemming. G. Giorgerini. E. Giovanzana. Goddard Space Flight Center. Harbor Branch Found. I.C.P. J.L.P. Kitt Peak National Observatory and the the Cerro Tololo Inter American Observatory. Klein Associates, Salem. J.P. Laffont-Sygma/Grazia Neri. Lockheed. Lloyd Triestino. C. Mauri/Marka. R.C. Murphy. Museo Naval, Madrid. NASA. National Museet, Copenhague. Naval Undersea Research and Development Center. Noaa. O.P.I. Orion/Marka. Peabody Museum of Salem, Photo de Mark Sexton. Daniele Pellegrini. Lino Pellegrini. Perry Oceanographic. Guido Picchetti. Folco Quilici. Rijks Museum Van Geologie en Mineralogie, Leiden. IMP. L. Rossi. Royal Viking Line. Mario Russo. Saipem. Flip Schulke/Grazia Neri. S.E.F. Dennis Stock/Magnum. H. Stubbs/SCCWRP. Teksea. Telespazio. U.S. Geological Survey. U.S. Navy. Luis Villota/The Image Bank. C. Vita-Finzi. P. Wadhams. Wings Photo Enterprise. Woods Hole Oceanographic Inst. Woods Hole, Ma. USA. John Zimmerman.

ILUSTRADORES

Alessandro Bartolaminelli. Diagram Visual Information Limited. Ezio Giglioli. Glostudio, Novara. Hachette-Guides Bleus. Mario Russo. Studio Due Punti, Milán. Tiger Tateishi.

4 ENCICLOPEDIA DEL MAR

folio